

ALEX CARNEIRO LEAL

EFEITO DE RESÍDUOS DE *Leucaena leucocephala*
(Lam.) de Wit NA FERTILIDADE DE DOIS SOLOS
AGRÍCOLAS DAS REGIÕES NORTE E NOROESTE
DO PARANÁ, COM PARTICULAR ÊNFASE
NO pH E ALUMÍNIO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais na área de concentração de Silvicultura.

Orientador: Dr. Mario T. Inoue.

CURITIBA

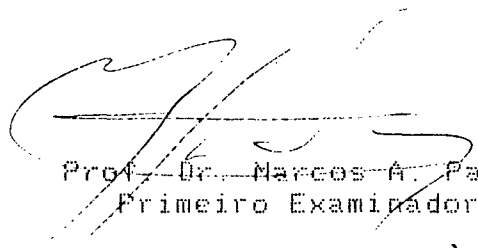
1993

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

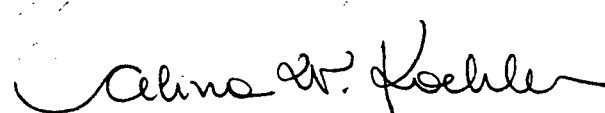
P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato **ALEX CARNEIRO LEAL** Sob o título **"EFEITO DE RESÍDUOS DE *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit NA FERTILIDADE DE DOIS SOLOS AGRÍCOLAS DAS REGIÕES NORTE E NOROESTE DO PARANÁ, COM PARTICULAR ÊNFASE NO pH E ALUMÍNIO"** para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais Curso de Pós- Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração em **SILVICULTURA**, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com uma nota final: **9,1**.

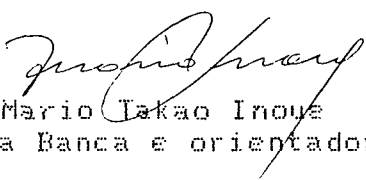
Curitiba, 23 de abril de 1993



Prof. Dr. Marcos A. Pavan
Primeiro Examinador



Prof. Dra. Celina Wisniewski Koehler
Segunda Examinadora



Prof. Dr. Mario Takao Inoue
Presidente da Banca e orientador

A meu pai Tito Carneiro Leal (in memorian)

A minha mãe Jeny Carneiro Leal

A meu irmão Gilney Carneiro Leal (in memorian)

DEDICO

A minha esposa Joana,

e aos meus filhos,

Humberto e Guilherme

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Dr. Mario Takao Inoue e Dra. Celina W. Koehler pela orientação, e especialmente ao Dr. Marcos A. Pavan.

Ao Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal, e aos seus professores, funcionários e alunos pela generosa acolhida.

Ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) pela oportunidade concedida para a realização do curso, e aos colegas pesquisadores pela amizade e constante estímulo.

A CAPES pela bolsa de estudos.

Aos funcionários do laboratório de solos e tecido vegetal do IAPAR, pela ajuda na realização das análises.

Aos técnicos agrícolas José Edson Antonio e Paulo Rezende pelo auxílio na instalação e condução dos experimentos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 - SOLOS ÁCIDOS	4
2.2 - ACIDEZ DO SOLO	8
2.3 - AGROSSILVICULTURA E FERTILIDADE DO SOLO	11
2.4 - <i>Leucaena leucocephala</i>	11
2.5 - CULTIVO DA LEUCENA E ACIDEZ DO SOLO	14
2.6 - A LEUCENA NOS SISTEMAS AGRÍCOLAS	15
2.7 - RESÍDUOS ORGÂNICOS E FERTILIDADE DO SOLO	19
3 - MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 - EXPERIMENTO 1: INCUBAÇÃO DE DOIS SOLOS AGRÍCOLAS	
COM RESÍDUOS DE LEUCENA	25
3.1.1 - Coleta e preparo dos solos	25
3.1.2 - Coleta e preparo do material vegetal	26
3.1.3 - Descrição do experimento	27
3.1.4 - Procedimento de amostragem	28
3.1.5 - Delineamento experimental	28
3.2 - EXPERIMENTO 2: EFEITO DE RESÍDUOS DE LEUCENA NAS	
CAMADAS SUPERFICIAL E SUB-SUPERFICIAL DE UM	
LATOSSOLO ROXO	31
3.2.1 - Coleta e preparo do solo	31

3.2.2 - Coleta e preparo do material vegetal	31
3.2.3 - Descrição do experimento	31
3.2.4 - Procedimento de amostragem	34
3.2.5 - Delineamento experimental	34
3.3 - PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS	35
3.3.1 - Análises de solo	35
3.3.2 - Análises da água de drenagem	36
3.3.3 - Análises dos resíduos de leucena	36
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 - EXPERIMENTO 1 - INCUBAÇÃO DE DOIS SOLOS AGRÍCOLAS COM RESÍDUOS DE LEUCENA	38
4.1.1 - A reação do solo (pH)	38
4.1.2 - Alumínio (Al)	41
4.1.3 - Acidez potencial (H+Al)	45
4.1.4 - Potássio (K)	46
4.1.5 - Cálcio (Ca)	47
4.1.6 - Magnésio (Mg)	48
4.1.7 - Fósforo (P)	49
4.1.8 - Carbono (C)	51
4.1.9 - Saturação por Alumínio (m%)	52
4.1.10 - Saturação por bases (V%)	53
4.2 - EXPERIMENTO 2 - EFEITO DE RESÍDUOS DE LEUCENA NAS CAMADAS SUPERFICIAL E SUB-SUPERFICIAL DE UM LATOSSOLO ROXO	55
4.2.1 - Análises na água de drenagem	55
4.2.1.1 - pH da água de drenagem (pH _d)	55
4.2.1.2 - Nitrato	56
4.2.1.3 - Alumínio	57

4.2.2 - Análises das camadas de solo	58
4.2.2.1 - A reação do solo (pH)	58
4.2.2.2 - Alumínio (Al)	59
4.2.2.3 - Acidez potencial (H+Al)	61
4.2.2.4 - Potássio (K)	61
4.2.2.5 - Cálcio (Ca)	62
4.2.2.6 - Magnésio (Mg)	64
4.2.2.7 - Fósforo (P)	65
4.2.2.8 - Carbono (C)	66
4.2.2.9 - Saturação por alumínio (m%)	66
4.2.2.10 - Saturação de bases (V%)	67
5 - CONCLUSÕES	69
ANEXO - ESTATÍSTICAS	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE TABELAS

1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DOS SOLOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO 1	26
2 - ANÁLISE QUÍMICA DOS RESÍDUOS DE LEUCENA	27
3 - DATAS DE COLETA DAS AMOSTRAS E TEMPOS DE INCUBAÇÃO DO EXPERIMENTO 1	29
4 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DO SOLO UTILIZADO NO EXPERIMENTO 2	33
5 - MÉDIAS DE pH DOS TRATAMENTOS POR CAMADA	59
6 - MÉDIAS DE Al (meq/100ml) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA	60
7 - MÉDIAS DE H+Al (meq/100ml) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA	61
8 - MÉDIAS DE K (meq/100ml) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA	62
9 - MÉDIAS DE Ca (meq/100ml) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA	63
10 - MÉDIAS DE Mg (meq/100ml) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA	64
11 - MÉDIAS DE P (ppm) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA	65
12 - MÉDIAS DE C (%) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA	66
13 - MÉDIAS DA SATURAÇÃO POR Al (m%) POR CAMADA	67
14 - MÉDIAS DA SATURAÇÃO POR BASES (V%) POR CAMADA	68
A1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO pH AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	71

A2 - MÉDIAS DE pH AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	71
A3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Al AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	72
A4 - MÉDIAS DE Al (meq/100ml) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	72
A5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO H+Al AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	73
A6 - MÉDIAS DE H+Al (meq/100ml) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	73
A7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO K AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	74
A8 - MÉDIAS DE K (meq/100ml) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	74
A9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Ca AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	75
A10 - MÉDIAS DE Ca (meq/100ml) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	75
A11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Mg AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	76
A12 - MÉDIAS DE Mg (meq/100ml) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	76
A13 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO P AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	77
A14 - MÉDIAS DE P (ppm) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	77
A15 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO C AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	78
A16 - MÉDIAS DE C (%) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	78

A17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA SATURAÇÃO POR Al (%)	
AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	79
A18 - MÉDIAS DA SATURAÇÃO POR Al (%) AOS 180 DIAS DE	
INCUBAÇÃO	79
A19 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA SATURAÇÃO POR BASES	
(%) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO	80
A20 - MÉDIAS DA SATURAÇÃO POR BASES (%) AOS 180 DIAS	
DE INCUBAÇÃO	80
A21 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO pH DO SOLO POR	
CAMADA	81
A22 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Al DO SOLO POR	
CAMADA	81
A23 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO H+Al POR CAMADA	82
A24 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO K POR CAMADA	82
A25 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Ca POR CAMADA	83
A26 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Mg POR CAMADA	83
A27 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO P POR CAMADA	84
A28 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO C POR CAMADA	84
A29 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA SATURAÇÃO POR Al POR	
CAMADA	85
A30 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA SATURAÇÃO POR BASES	
POR CAMADA	85

LISTA DE FIGURAS

1 - VISTA GERAL DO EXPERIMENTO 1	30
2 - VISTA GERAL DO EXPERIMENTO 2	32
3 - MÉDIAS DE pH AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA	39
4 - MÉDIAS DE pH NO LR DURANTE A INCUBAÇÃO	41
5 - MÉDIAS DE pH NO LE DURANTE A INCUBAÇÃO	41
6 - MÉDIAS DE Al AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA	42
7 - MÉDIAS DE Al NO LR DURANTE A INCUBAÇÃO	44
8 - MÉDIAS DE Al NO LE DURANTE A INCUBAÇÃO	44
9 - MÉDIAS DE H+Al AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA	45
10 - MÉDIAS DE K AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA	47
11 - MÉDIAS DE Ca AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA	48
12 - MÉDIAS DE Mg AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA	49
13 - MÉDIAS DE P AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA	50
14 - MÉDIAS DE C AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA	52

15 - MÉDIAS DE SATURAÇÃO POR Al AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA	53
16 - MÉDIAS DE SATURAÇÃO POR BASES AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA	54
17 - VALORES DE pH DA ÁGUA DE DRENAGEM DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL	56
18 - TEORES DE NITRATO NA ÁGUA DE DRENAGEM DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL	57
19 - TEORES DE Al NA ÁGUA DE DRENAGEM DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL	58

RESUMO

Foram conduzidos dois experimentos em condições de casa de vegetação em Londrina, Paraná, durante seis meses, para avaliar o efeito de resíduos de *Leucaena leucocephala* nas propriedades químicas das camadas superficial e sub-superficial de dois solos agrícolas, um latossolo roxo e um latossolo vermelho-escuro (Oxisols). Um dos experimentos consistiu de incubação dos solos com quantidades crescentes de resíduos de leucena, onde avaliaram-se periodicamente o pH e o teor de Al trocável. No outro experimento foram utilizadas colunas de solo (20cm de diâmetro por 60cm de altura) preenchidas com um latossolo roxo, onde foram incorporadas quantidades crescentes de resíduos de leucena na camada superficial (0-10cm), para avaliar o efeito nas camadas sub-superficiais do solo (10-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40-50cm). Os resultados dos dois experimentos foram concordantes, revelando melhoria da fertilidade do solo. Registrou-se redução imediata da acidez e do teor de Al trocável no local de incorporação dos resíduos, que se manteve durante o período experimental, e aumentos nos teores de K e Ca trocáveis, no conteúdo de carbono orgânico, no teor de P extraível (Mehlich-1), na saturação por bases, e redução da saturação por alumínio após os seis meses de incubação. Nas camadas sub-superficiais, houve tendência à redução da saturação por Al e aumento da saturação por bases, e redistribuição do K, Ca, Mg e P.

ABSTRACT

Two experiments were conducted during six months under greenhouse conditions at Londrina, Paraná, Brazil, to evaluate the effects of incorporating *Leucaena leucocephala* residues in the chemical properties of the superficial and sub-superficial layers of two soils, a latossolo roxo and a latossolo vermelho-escuro (Oxisols). One experiment consisted of the incubation of the soils with increasing quantities of leucaena residues, for periodic evaluation of the pH and exchangeable Al. In other experiment, latossolo roxo soil columns (20cm diameter by 60cm high) were utilized, in which the leucaena residues were incorporated in the top 0-10cm layer, for evaluating the effects in the sub-superficial soil layers (10-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40-50cm). The results of the two experiments were in agreement, revealing improvement in soil fertility. The observations revealed immediate reduction of acidity and exchangeable Al at the local of incorporation of the residues, maintained during all the experimental period. There was also increases in exchangeable K and Ca, in organic carbon content, in the extractable P (Mehlich-1), in the percent of basic cations saturation, and reduction in the percent of aluminum saturation, after the six months of incubation. At the sub-superficial layers, downward movement of K, Ca, Mg and P and a trend for reduction in percent Al saturation and for increase in percent basic cations saturation in the soil profile were observed.

1 — INTRODUÇÃO

A manutenção da capacidade produtiva do solo é um desafio que acompanha a humanidade desde que o homem se tornou agricultor.

Considerada como a primeira forma de agricultura, a agricultura migratória resolve o problema da manutenção da fertilidade do solo através da prática do pousio, durante o qual vegetação espontânea se desenvolve acumulando biomassa, reciclando nutrientes e melhorando as condições físicas do solo.

A agrossilvicultura tem como um dos seus fundamentos a sustentabilidade da produção, e esta é conseguida principalmente através da capacidade de certas espécies arbóreas em restaurar a fertilidade dos solos. A manutenção dos níveis de matéria orgânica pela formação de serrapilheira e pelos resíduos das raízes, é o efeito principal e a base dos demais processos de melhoria do solo atribuídos às árvores (YOUNG, 1987).

Na seleção de espécies florestais, novos objetivos para os plantios estão sendo incorporados aos tradicionais, direcionados quase que exclusivamente para propósitos industriais. Estes novos objetivos incluem além de produtos como lenha, postes, estacas e moirões para uso doméstico em propriedades rurais, o plantio de árvores para controle da erosão do solo, para estabilização de dunas, no manejo de bacias hidrográficas, para proteção de culturas como chá, café e cacau, na recuperação de áreas degradadas e para

enriquecimento do solo como adubo verde em sistemas agroflorestais. Para estes novos objetivos, características como fuste retilíneo com bom fator de forma, tamanho das fibras e ausência de bifurcações, não fazem mais sentido (EVANS, 1987).

Esforços para a seleção de espécies arbóreas e arbustivas que atendam a finalidades múltiplas, tais como produção de forragem e enriquecimento do solo, tem crescido em escala mundial, sendo a *Leucaena leucocephala* uma das principais espécies de uso múltiplo recomendada para compor sistemas agroflorestais nos trópicos e subtrópicos.

Os solos ácidos das regiões Norte e Noroeste do Paraná, quando desflorestados e submetidos ao cultivo tendem a ter seus níveis de matéria orgânica rapidamente diminuídos. KEMPER & DERPSCH (1981) publicaram dados obtidos nestas regiões, que revelaram reduções de aproximadamente 45% no conteúdo de matéria orgânica em latossolos cultivados com café e de 59% sob rotação soja e trigo.

A sustentabilidade da produção agrícola na região sul do Brasil pode ser conseguida com sistemas de cultivo que propiciem a manutenção da matéria orgânica e que evitem a movimentação excessiva do solo. Os sistemas agroflorestais, em virtude de favorecerem a manutenção ou mesmo o aumento da matéria orgânica nos solos, tem grande potencial para aplicação nesta região (CASTRO FILHO et al., 1991).

Inserido num projeto de avaliação de espécies florestais de uso múltiplo para sistemas agroflorestais desenvolvido no Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), este trabalho teve como objetivo a avaliação do efeito da incorporação de resíduos de *Leucaena leucocephala* na

fertilidade das camadas superficial e sub-superficial em amostras de dois solos agrícolas das regiões Norte e Noroeste do Paraná, com particular ênfase na acidez e no teor de alumínio. Dois experimentos foram conduzidos, num deles, através da técnica de incubação do solo, avaliou-se o efeito dos resíduos de leucena nas propriedades químicas de dois solos com diferentes características; no outro experimento foram usadas colunas de solo para avaliar no perfil do solo o efeito da incorporação dos resíduos de leucena na camada superficial. Foi dada ênfase na reação do solo e no teor de alumínio trocável por serem estes parâmetros extremamente importantes no manejo dos solos ácidos.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - SOLOS ÁCIDOS

Solos ácidos são comuns em regiões em que a precipitação é suficientemente elevada para lixiviar quantidades apreciáveis de bases trocáveis das camadas superficiais do solo. Devido às grandes extensões de solos ácidos agricultáveis, a importância da acidez, sob o aspecto prático, sobrepuja a da alcalinidade (BUCKMAN e BRADY, 1968).

Os solos ácidos e de baixa fertilidade são dominantes nos trópicos latino-americanos (Oxisols e Ultisols compreendem mais de 2/3 dos solos da região), e as principais limitações destes solos à produção vegetal são de natureza química: baixo conteúdo de bases trocáveis, baixas reservas de nutrientes, alta toxidez por alumínio, baixa disponibilidade de fósforo e acidez (SANCHEZ et al., 1985; SZOTT et al., 1991a; SZOTT et al., 1991b).

Nas regiões Norte e Oeste do Paraná, áreas de solos de alto potencial produtivo tem sido expostas à erosão, como consequência da devastação da floresta nativa, devido à expansão da agricultura e pecuária. O processo intenso de desmatamento não poupou sequer as áreas impróprias para a agricultura e a ausência quase total de reflorestamentos provocou a falta de matéria prima florestal, principalmente madeira para lenha e carvão (PARANÁ, 1987).

A classe latossolo roxo é constituída por solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B latossólico, formados a partir de rochas eruptivas básicas, do derrame

basáltico. A maior parte dos solos desta classe no Estado do Paraná são distróficos (44,6%) e álicos (23,9%), de baixa a muito baixa fertilidade natural, ácidos a muito ácidos e com teores moderados a altos de alumínio trocável. A classe é composta por solos muito profundos, e a espessura do horizonte A varia entre 10 a 50 cm na grande maioria dos solos desta classe. A densidade aparente usualmente se situa entre 0,7 e 1,0 g/cm³ ao longo de todo o perfil. O equivalente de umidade na maioria dos casos varia entre 30 e 40, o que implica em alta retenção de água. Ocupam frequentemente superfícies de declives suaves, entre 2 e 8% (LARACH et al., 1984).

Sob a denominação latossolo vermelho-escuro, estão compreendidos solos minerais com B latossólico, de textura argilosa ou média. São profundos, de sequência de horizontes A, B, C, sendo a espessura de A+B superior a 3 metros, muito porosos e permeáveis, bem acentuadamente drenados quando de textura argilosa e acentuadamente a fortemente drenados quando de textura média. São solos preponderantemente álicos e distróficos. As características marcantes destes solos são, os baixos teores de silte, a baixa relação silte/argila e a absoluta ou virtual ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis, que constituem fonte ou reserva potencial de nutrientes para as plantas. As baixas percentagens de saturação de bases (V%), expressam a intensa lixiviação, salvo nos casos dos solos eutróficos. Ocorrem principalmente em áreas de relevo suave ondulado e praticamente plano, com declives entre 1 e 8%. No Norte do Estado, e principalmente no Noroeste, ocorre a maior concentração destes solos; são desenvolvidos a partir do arenito Caiuá e da mistura deste com as rochas do derrame basáltico (LARACH et al., 1984).

O preparo do solo por métodos da agricultura tradicional e o consequente desnudamento do solo, especialmente em épocas de altas precipitações pluviométricas, são considerados por DERPSCH et al. (1991) como principais causas da degradação dos solos no Paraná. O aumento da carga de sedimentos e do teor de P e N na água da represa de Itaipu, coincide com a época de preparo do solo e semeadura, fato que reflete tanto a perda da capacidade produtiva do solo como agravamento dos problemas ambientais causados pela erosão, tais como eutrofização e assoreamento dos cursos d'água.

O preparo conservacionista do solo, é uma das principais formas de evitar a erosão e seus efeitos negativos nas colheitas e no meio ambiente. Neste tipo de preparo do solo o manejo da matéria orgânica é fundamental, sendo preconizada a incorporação dos restos vegetais existentes no terreno após a colheita ou das plantas de adubação verde, podendo ainda serem deixados na superfície sem incorporação (DERPSCH et al., 1991).

RAIJ (1991) é de opinião que o pH do solo é o primeiro fator que precisa ser conhecido em uma gleba a cultivar, pois a reação do solo tem efeitos diretos e indiretos sobre a maioria dos nutrientes, afetando sua disponibilidade. Considera a acidez excessiva o problema mais comum relacionado ao pH nos solos brasileiros, e afirma que das técnicas conhecidas para avaliação da fertilidade do solo, a única disponível e de fácil acesso é a análise química do solo.

Segundo TISDALE et al. (1985), o desenvolvimento da acidez nos solos em sistemas agrícolas está associado à presença de Al trocável combinado com um ou mais dos seguintes fatores: a) uso de fertilizantes comerciais, especialmente os

amoniacaais, b) remoção de cátions básicos como Ca, Mg, K e Na pelas colheitas e por lixiviação e c) decomposição de resíduos orgânicos.

Em solos ácidos e pouco férteis como os Oxisols e Ultisols, a calagem, a aplicação de fertilizantes e adições de resíduos orgânicos, são práticas necessárias à sustentabilidade da produção, sendo que, com a utilização destas de forma adequada, a produtividade pode ser mantida a níveis superiores ao do solo original (KANG, 1989).

A utilização do gesso nesses solos é prática ainda recente, cujos efeitos principais são a neutralização do Al tóxico e o aumento do teor de Ca nas camadas mais profundas do perfil do solo. Como efeito negativo da gessagem pode-se esperar arrastamento de K e Mg, como $K_2SO_4^0$ e $MgSO_4^0$, para camadas mais profundas, fora do alcance das raízes das plantas (MALAVOLTA, 1989).

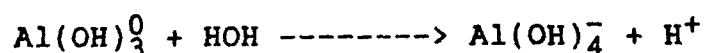
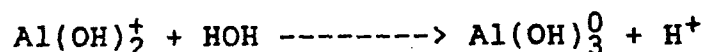
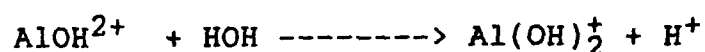
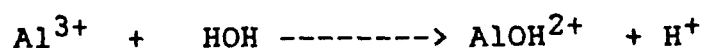
PAVAN et al. (1984b) utilizaram colunas de solo (20cm x 110cm) para determinar a redistribuição no perfil do Ca, Mg e Al trocáveis causada pela incorporação de calcário ($CaCO_3$) e de gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) nos 2 cm superficiais de um oxisol. Para o Ca, encontraram que o aumento na concentração do elemento ficou restrito aos 10 cm superficiais no tratamento com $CaCO_3$, enquanto que para o tratamento com gesso houve uma redistribuição uniforme no perfil. Para o Mg, houve redução nos 20cm superficiais nas colunas de solo tratadas com $CaCO_3$ e ligeiro aumento no restante do perfil, enquanto que nas colunas com gesso houve redução em todo o perfil, sendo esta maior que a verificada no tratamento com $CaCO_3$. O Al foi completamente neutralizado pelo $CaCO_3$ nos 5cm superficiais das colunas de solo e apresentou alguma redução em relação à

testemunha até aproximadamente os 40cm de profundidade, enquanto que o gesso reduziu o Al em todo o perfil. Concluem que enquanto o calcário foi eficiente em neutralizar o Al e suprir Ca no horizonte superficial, o gesso foi mais efetivo em reduzir o Al e suprir Ca ao longo do perfil do solo.

2.2 - ACIDEZ DO SOLO

Existem duas fontes coloidais principais de íons hidrogênio para a solução do solo: íons adsorvidos de alumínio e de hidrogênio (BUCKMAN e BRADY, 1968).

Denomina-se acidez ativa a fração de hidrogênio do solo que está dissociada na forma de íons H^+ , e que é medida pelo pH. A maior parte do hidrogênio do solo não está dissociada, devido ao seu comportamento de ácido fraco, e a esta fração não dissociada dá-se o nome de acidez potencial. A acidez ativa e a potencial estão em equilíbrio dinâmico na solução do solo. O alumínio também faz parte da acidez potencial pois, em condições ácidas, devido à solubilização de compostos de Al, ocorre a presença de íons Al^{3+} na solução do solo que tem tendência a serem hidrolizados liberando íons H^+ , como exemplificam as equações:



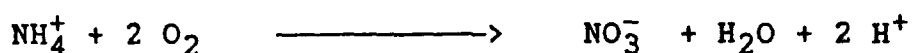
A acidez potencial, portanto, é constituída por hidrogênio e alumínio ($H+Al$), mas somente o Al é um cátion trocável, sendo por isto denominado de acidez trocável (RAIJ, 1991; PAVAN, 1985).

Dos fatores limitantes à produção agrícola associados

aos solos ácidos, o efeito do Al solúvel no crescimento das raízes e na nodulação das leguminosas geralmente é aceito como o mais importante. O aumento da toxidez por Al pela redução do pH (H_2O) abaixo de 5,5 é relacionada basicamente ao aumento da solubilidade do Al presente no solo. Para um dado solo há uma boa relação entre o pH do solo e o Al trocável ou a saturação por Al, mas não há uma relação aplicável a todos os solos (BLAMEY e EDWARDS, 1989).

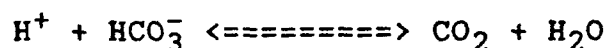
A matéria orgânica quando em decomposição no solo, libera íons H^+ que estão associados com ânions orgânicos, o que tende a diminuir o pH. Também libera NH_3 , que em meio ácido é transformado em NH_4^+ , consumindo H^+ . O NH_4^+ produzido é rapidamente oxidado a NO_3^- pela reação de nitrificação.

A reação de nitrificação do íon amônio, originado da matéria orgânica do solo ou de adubos, é sempre acidificante como demonstra a equação simplificada:



Os dois H^+ formados irão deslocar cátions trocáveis para a solução do solo, e se estes cátions dissolvidos não forem absorvidos pelas plantas serão lixiviados. Esta reação é considerada por RAIJ (1991) como possivelmente a principal causa de empobrecimento dos solos pelo processo de lixiviação.

A matéria orgânica pode aumentar o pH pela mineralização de ânions orgânicos a CO_2 e água, como exemplifica a equação:



Esta reação se desloca para a direita em solos ácidos ($pH < 5,2$), consumindo prótons e elevando o pH do sistema (MENGEL e KIRKBY, 1987).

A constante de dissociação (pK) dos ácidos fracos

orgânicos (medida a 50% de dissociação), indica o seu provável efeito no pH do solo, pois se o pK dos ácidos fracos orgânicos for maior que o pH do solo haverá aumento no pH do solo devido à associação de íons H^+ com alguns dos ânions orgânicos. A natureza alcalina do material vegetal foi apontada por RITCHIE & DOLLING (1985) como melhor indicador da capacidade deste em alterar o pH de um solo. Esta natureza alcalina, ou concentração aniônica, é a percentagem atual de dissociação dos ácidos orgânicos do material ao serem liberados no solo.

Outra característica importante da matéria orgânica relacionada à acidez do solo, é que alguns dos ácidos orgânicos formados durante sua decomposição são capazes de formar complexos estáveis com íons alumínio e tornar algumas formas tóxicas de Al indisponíveis para as plantas, como ilustra o esquema:



onde: L = Ligante orgânico

A complexação do alumínio nas formas de Al^{3+} , $AlOH^{2+}$, e $Al(OH)_2^+$ por ácidos orgânicos, diminuindo a toxidez do alumínio para as plantas, depende da concentração e da constante de estabilidade do complexo formado (MIYAZAWA, 1990).

BARTLETT & RIEGO (1972) demonstraram em ensaio com plantas de milho, que a toxidez do Al pode ser neutralizada através de complexação com extratos de matéria orgânica.

HARGROVE & THOMAS (1981) demonstraram que o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo, tende a reduzir o teor de Al trocável em qualquer pH, e diminuir o pH do solo no qual a toxidez por Al ocorre, resultando em melhor crescimento das plantas.

2.3 - AGROSSILVICULTURA E FERTILIDADE DO SOLO

Agrossilvicultura é uma designação relativamente nova para uma série de práticas antigas relacionadas ao uso do solo, e que passou a ser conhecida a partir de um estudo de grande repercussão de BENE et al. (1978). A definição apresentada foi, "... um sistema sustentável de uso do solo que aumenta a produção total, combina cultivos agrícolas, árvores e/ou animais, simultaneamente ou sequencialmente, e aplica práticas de manejo que são compatíveis com os padrões culturais da população local". Atualmente, o termo é amplamente aceito como uma abordagem ao uso da terra que envolve a deliberada associação de árvores com cultivos agrícolas e/ou animais (NAIR, 1989).

A hipótese básica para a interação solo-agrossilvicultura, segundo YOUNG (1987), pode ser enunciada como: "Um sistema agroflorestal apropriado controla a erosão, mantém a matéria orgânica do solo e suas propriedades físicas, e promove uma eficiente ciclagem de nutrientes".

Destaca-se a agrossilvicultura entre os sistemas de cultivo que visam manter a fertilidade do solo. Neste sistema a produtividade é aumentada ou mantida de maneira sustentável, com baixos ingressos de capital e insumos industrializados. Propicia ainda a produção de madeira para diversos usos, notadamente peças de pequenas dimensões (YOUNG, 1987).

2.4 - *Leucaena leucocephala*

A espécie *Leucaena leucocephala* é uma leguminosa de distribuição pantropical e de usos múltiplos. Originária do México, sua ampla disseminação deve-se a características como: facilidade e rapidez de reprodução, crescimento gregário e

rápido, adaptação a uma ampla faixa de condições edáficas e climáticas, e tolerância a pragas e a seca. Apesar das descrições botânicas aparecerem na literatura por dois séculos, sua nomenclatura só recentemente foi esclarecida. O nome botânico pelo qual a planta é conhecida na literatura mundial é *Leucaena glauca* (Willd.) Benth., entretanto, atualmente é aceito e usado o nome *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., oriundo do basônimo *Mimosa leucocephala* Lamarck (OAKES, 1968).

BREWBAKER & GLENN (1980), consideram comum a ocorrência de híbridos, especialmente entre *L. diversifolia*, *L. pulverulenta* e *L. leucocephala*.

A leucena, considerada uma planta apropriada para sistemas agroflorestais, é de crescimento rápido e tem grande capacidade de rebrota, além de ser fixadora de nitrogênio, tendo sido chamada de árvore milagrosa (NFTA, 1990).

Nas regiões Norte e Oeste do Paraná, o uso desta espécie para alimentação animal, está sendo difundido, com boa aceitação entre os produtores rurais (sementes de leucena são distribuídas aos produtores pela pesquisa e pelo serviço de extensão rural do Estado, tendo sido publicados folhetos de orientação aos agricultores sobre seu cultivo).

O porte e a produtividade da espécie é variável em função da variedade, condições edafoclimáticas e manejo. Observações em várias partes do mundo mostram variações de altura de 2 a 20m. Produções de forragem de 14 a 22 t/ha de matéria seca por ano são obtidas no Havaí (OAKES, 1968).

VAN DEN BELDT (1982) registrou, no Havaí, produções de serrapilheira de 8,50; 8,32 e 8,79 t/ha/ano, para populações de 10.000, 20.000 e 30.000 árvores por ha, respectivamente.

POUND & MARTINEZ CAIRO (1983) publicaram dados de produção de matéria seca, obtidos em institutos de pesquisa em várias regiões do mundo, que variam de 5,3 a 33,1 t/ha/ano.

Produções de madeira de 24 a 100 m³/ha/ano foram registradas para a leucena nas Filipinas, sendo a média estimada em 30 a 40 m³/ha/ano (NAS, 1980).

DUTT & JAMWAL (1991) comparando a produtividade entre indivíduos com tronco único e com troncos múltiplos, em um povoamento de *Leucaena leucocephala* com 6 anos de idade, encontraram que o DAP dos indivíduos com tronco único variou de 13,0 cm a 15,0 cm enquanto que o das árvores com tronco múltiplo variou de 12,1 cm a 16,8 cm. O volume médio das árvores com tronco múltiplo foi de 0,2902 m³ contra apenas 0,1102 m³ das árvores com tronco único. Concluem que as observações indicam claramente o maior potencial de produção de biomassa das árvores com tronco múltiplo quando no espaçamento de 3 m x 3 m.

JIANG & LIU (1991), pesquisando o melhor espaçamento da leucena para produção de forragem, encontraram que as altas densidades maximizaram as produções de forragem e que as baixas densidades apresentaram as maiores produções de madeira. As densidades variaram de 167.000 plantas/ha a 10.000 plantas/ha, e o melhor espaçamento foi o de 60cm x 20cm (83.333 plantas/ha). As produções de forragem variaram entre 26,85 t/ha e 41,60 t/ha por ano.

MENDOZA & JAVIER (1980) comparando 3 variedades gigantes de leucena (K8, K28, K67) e uma forrageira (Peru), concluíram serem similares as produções de forragem dos materiais. As médias em t/ha/ano foram: K28 = 25,34, K8 = 24,80, K67 = 24,02 e Peru = 22,27.

Uma avaliação de 5 introduções de leucena feitas na estação experimental de Ibiporã, na região Norte do Paraná, registrou produções de matéria seca variando de 17,1 a 18,4 t/ha/ano para as variedades mais promissoras (SÁ, 1987).

2.5 - CULTIVO DA LEUCENA E ACIDEZ DO SOLO

A leucena não se desenvolve bem em solos ácidos, mas é recomendada para plantios de comprovação nas regiões do Paraná com menor incidência de geadas (EMBRAPA, 1986).

O desenvolvimento de cultivares tolerantes à acidez através de cruzamentos com outras espécies do gênero seguido de retrocruzamento com *L. leucocephala* tem obtido sucesso (HUTTON, 1980; HUTTON, 1981).

Na seleção de cultivares de leucena para solos ácidos, a capacidade das raízes em absorverem Ca e penetrarem profundamente no solo é mais importante que a tolerância das raízes ao Al, isto em virtude destes solos possuírem níveis de Ca nos horizontes subsuperficiais desfavoráveis ao crescimento das raízes de leucena (HUTTON, 1982).

AHMAD & NG (1981) consideram que a espécie possui alta sensibilidade às pequenas variações de pH, e estimam o pH crítico entre 4,45 e 4,70, e recomendam elevar o pH no mínimo para cerca de 5,0 antes do plantio.

HU & CHENG (1980) estudando o efeito da calagem em mudas de leucena em vasos e a campo, concluíram que o pH ótimo fica entre 6,0 e 7,0, acima deste valor o crescimento em altura e a produção de matéria seca das mudas decresceram.

HUTTON & SOUZA (1985) consideram que para conseguir altas produções de forragem e proteína em plantios de leucena nos solos ácidos do cerrado brasileiro (Oxisols), é necessário

combinar o uso de linhagens tolerantes à acidez com aplicações de superfosfato simples ou gesso, visando promover a migração do Ca para camadas mais profundas e permitindo melhor enraizamento e nodulação.

A disponibilidade de Ca é importante para uma nodulação eficiente, e a exigência do nutriente parece ser maior para a nodulação do que para um crescimento satisfatório do sistema radicular (HUTTON, 1984).

2.6 - A LEUCENA NOS SISTEMAS AGRÍCOLAS

Pela capacidade da leucena em fixar nitrogênio no solo, o sistema milho-leucena no cultivo em alamêdas (alley cropping) pode ser operado como um sistema de baixo uso de nitrogênio mineral, no qual a produtividade do milho pode ser sustentada a níveis relativamente baixos sem a adição de nitrogênio, ou a níveis altos de produtividade com suplementação de nitrogênio em doses pequenas (KANG et al., 1981).

ALVAREZ & ALFEREZ (1984) relataram, após conduzirem experimento de campo por duas colheitas, que parcelas de milho intercalado com leucena produziram tanto quanto parcelas sem leucena fertilizadas com 60-30-30 kg/ha de NPK, e que o teor de matéria orgânica, de potássio trocável e o pH não foram significativamente alterados, pela leucena ou pelo fertilizante inorgânico.

PATHAK (1985) reporta significativos aumentos na produção de aveia forrageira pela adição de resíduos de leucena. As doses de 30 kg/ha de N, na forma de uréia e de resíduos de leucena foram equivalentes.

HU et al. (1984) estudando a variação dos níveis de

nutrientes no solo, antes e após 18 colheitas de leucena para forragem (média de 4 cortes anuais), encontraram uma variação positiva para N, P, K, Ca e Mg na camada de 0-30 cm. Presumem que esta variação pode beneficiar as colheitas subsequentes de forragem e aumentar a produtividade do sítio.

Investigando o efeito da folhagem de leucena como adubo verde na produção de sorgo forrageiro, GILL & PATIL (1982) compararam seis tratamentos: (T1) testemunha, (T2) folhagem de leucena, (T3) folhagem de sesbania, (T4) folhagem de leucena + 30 kg/ha de N, (T5) folhagem de sesbania + 30 kg/ha de N e (T6) 60 kg/ha de N. A adição de folhagem de leucena (T2) propiciou produções de sorgo significativamente superiores à testemunha (T1) e ao tratamento com sesbania (T3), e apesar do tratamento com 60 kg/ha de N (T6) ter registrado produção superior, esta foi bastante próxima da obtida com o tratamento leucena + 30 kg/ha de N (T4). Comentam que estes resultados demonstram a utilidade da leucena para adubação verde, e sua importância como fonte para adubação de cultivos em condições climáticas tropicais e subtropicais. Acrescentam que além de aumentar a produção e diminuir o consumo de fertilizante nitrogenado, a folhagem de leucena usada como adubo verde fornece matéria orgânica que melhora as propriedades do solo.

DAS & REDDY (1982) estudando a resposta de 4 culturas agrícolas (sorgo, guandu, milho e mamona), ao cultivo entre ruas de leucena espaçadas 3 e 6 m, encontraram maior produção de grãos para todas as culturas quando associadas à leucena do que quando em monocultivo. Atribuíram os aumentos de produção à contribuição do N biológico, e consideraram a associação mutuamente benéfica.

GILL (1984), estudando a resposta da aveia forrageira à

adubação com folhas de *Leucaena leucocephala*, *Sesbania sesban* e *Desmanthus virgatus*, encontrou maior altura e peso verde da aveia nos tratamentos com adubação verde do que no tratamento com 30 kg/ha N (uréia) e na testemunha. Concluiu que folhas de leguminosas forrageiras arbustivas podem ser uma excelente fonte de adubo, sendo a leucena a mais promissora entre as três testadas.

DEB ROY & GILL (1991) estudando o interplântio da *Leucaena leucocephala* em 3 espaçamentos (2m x 4m, 2m x 6m e 2m x 10m) com várias rotações de cultura (sorgo-trigo, sorgo-grão de bico, guandu-trigo e guandu-grão de bico), concluíram que a máxima produção foi alcançada com a rotação sorgo-trigo no espaçamento de 2m x 10m da leucena. Todas as rotações registraram produção máxima no tratamento com leucena no espaçamento de 2m x 10m, que permite mínima competição por água e luz.

Estudando o padrão de liberação de N (NH_4^+ + NO_3^-) durante a decomposição de folhas de leucena, WEERARATNA (1982) concluiu que as folhas de leucena começam a se decompor na primeira semana de incubação no solo, e assinala que tanto sob condições aeróbicas quanto anaeróbicas, a maior parte do N nas folhas de leucena parece ter sido liberado nas três primeiras semanas de incubação.

CHIYENDA & MATERECHERA (1989) trabalhando com três espécies de leguminosas de uso múltiplo (*Leucaena leucocephala*, *Cassia siamea* e *Cajanus cajan*) em sistema de cultivo de milho em alamêdas (alley cropping), afirmaram que a incorporação de resíduos destes arbustos tem definitivamente um efeito positivo no solo, mas que esta incorporação não fornece quantidades de N equivalentes às recomendadas para

fertilizantes inorgânicos com objetivo de alcançar produtividade máxima do milho.

JHA, DIMRI & GUPTA (1991) observaram as alterações no solo provocadas pela leucena em plantios de diferentes durações: imediata (1 ano), curto prazo (3 anos), médio prazo (9 anos) e longo prazo (45 anos). Registraram aumentos do N disponível, P e K, proporcionais à duração do plantio. As quantidades de K, N disponível, N total e de matéria orgânica, foram maiores nos primeiros 30 cm do solo, e alterações ocorreram em todo o perfil. Os níveis de N disponível, K e P aumentaram respectivamente 50%, 192% e 179% no plantio de longo prazo (45 anos), 33%, 42% e 27% no de médio prazo (9 anos) e 11%, 8% e 24% no de curto prazo (3 anos). Concluíram que o benefício da retenção de matéria orgânica sob plantios de leucena ajuda o crescimento das plantas bem como melhora o nível de fertilidade do solo.

HUE & AMIEN (1989) estudaram o potencial de três espécies utilizadas para adubação verde (feijão caupi, leucena e capim colonião) como corretivos da acidez do solo. Utilizaram a *Sesbania cochinchensis* como planta indicadora devido a sua sensibilidade à acidez. Entre os três materiais, a leucena e o feijão caupi foram os mais eficientes em aumentar o pH e em reduzir a toxidez por Al. A diferença encontrada entre os adubos verdes, sugere que a relação entre a incorporação de matéria orgânica, e o pH e a quantidade de Al solúvel, varie em função da fonte de matéria orgânica. O estudo demonstrou que adubos verdes podem substituir o calcário na redução da toxidez por Al, ao menos a curto prazo.

2.7 - RESÍDUOS ORGÂNICOS E FERTILIDADE DO SOLO

A alteração do pH do solo e da quantidade de alumínio trocável por adições de resíduos vegetais é demonstrada por diversos autores, sendo que a resposta parece depender tanto do material vegetal como do solo em questão, embora PRIMAVESI (1980) afirme que o efeito corretivo da matéria orgânica sobre o pH do solo ocorra com qualquer material orgânico, desde que seja aplicado em condições que favoreçam uma microvida, em parte, aeróbica. Reitera que a adubação verde não enriquece o solo em matéria orgânica, ao contrário, gasta-a, podendo ser considerada uma adubação nitrogenada.

Segundo KANG et al. (1981), a baixa relação C/N dos resíduos de leucena faz com que a decomposição seja rápida deixando pouco nitrogênio residual e contribuindo também pouco para a construção da matéria orgânica do solo. Entretanto, baseia-se num experimento com leucena e milho, onde a adição de resíduos de leucena aumentou o nível de matéria orgânica no solo, embora não significativamente.

Analisando mudanças no solo provocadas por reflorestamentos de *Gmelina arborea* e *Pinus caribaea* em Jari no Pará, comparativamente à floresta natural, SANCHEZ et al. (1985) concluem que há diferenças marcantes entre as espécies na capacidade de reciclar nutrientes, alterar o pH do solo e a disponibilidade de nutrientes. O solo sob *Gmelina* apresentava um pH de 5,2 enquanto que sob *Pinus* era de 3,9, semelhante ao da floresta natural. A elevação do pH sob *Gmelina* foi acompanhada por um aumento nas reservas de Ca para 860 kg/ha, enquanto que sob *Pinus* foi de 100 kg/ha e na floresta natural 40 kg/ha.

SILVA (1983) citado por SANCHEZ et al. (1985) obteve

resultados que demonstram aumentos nos teores de Ca, Mg e K do solo sob *Cordia trichotoma* e *Caesalpinia equinata* em relação à floresta nativa, e ausência de diferenças sob a espécie *Dalbergia nigra*.

O florestamento com *Pinus elliottii* promoveu a acidificação do solo, diminuindo o pH e os teores de Ca+Mg trocáveis e liberando Al trocável, conforme estudo realizado por PAULA SOUZA & PAULA SOUZA (1981) em uma toposequência no município da Lapa no segundo planalto paranaense.

PAVAN et al. (1986) em estudos com cobertura morta em solos cultivados com cafezais no litoral paranaense, encontraram variações no pH que foram desde a redução em tratamentos sem adição de materiais vegetais até aumentos de 0,8 unidades nos tratamentos com adição de cobertura morta (predominantemente de *Brachiaria humidicola*). A concentração de Al trocável aumentou nos casos em que o pH diminuiu, e diminuiu quando o pH aumentou. Reportaram que os benefícios da cobertura morta de gramíneas na elevação do pH e redução do Al trocável foram mais evidentes na camada superficial do solo.

HOYT & TURNER (1975) relataram aumentos no pH e redução do Al trocável em ensaios com adição de resíduos de alfafa em doses elevadas (15 a 30 toneladas por acre) em solos ácidos. Este efeito poderia ser atribuído à precipitação do Al em função do aumento no pH pela produção de NH_3 no processo de decomposição, entretanto a maior parte da variação se deu antes que houvessem aumentos apreciáveis no NH_4^+ produzido, indicando que os efeitos na redução do Al trocável e na elevação do pH não foram devido a produção de NH_3 . Encontraram que os complexos formados pelos resíduos de alfafa sem incubação eram na maioria solúveis em água, enquanto que após

4 semanas de incubação estes eram insolúveis. Concluíram serem estes componentes solúveis em água os principais responsáveis pela imediata complexação do Al e que o tempo de incubação reduz a eficiência destes em complexar o Al. Apesar de concluírem ser possível a utilização de materiais orgânicos como alternativa à calagem, não consideraram satisfatória a substituição por produzir efeitos apenas temporários, pois, em condições de casa de vegetação, após seis meses os níveis haviam retornado aos valores originais.

BLOOM et al. (1979) trabalhando com solos ácidos (pH 4,0-4,5) concluíram que a efetividade da matéria orgânica em diminuir o Al^{3+} depende do pH do solo e da saturação de bases do material orgânico. Afirmam que as reações de troca do Al adsorvido nos sítios carboxílicos da matéria orgânica são o fator mais importante no controle da atividade do Al^{3+} na solução do solo (abaixo de pH 5,0). A troca por H^+ e a hidrólise do Al dos sítios de troca da matéria orgânica são importantes fontes de tamponamento em solos ácidos (pH < 5,0) com baixa CTC não dependente de pH. Entendem que adições anuais de matéria orgânica podem ser efetivas na redução da toxidez do alumínio.

DUDLEY et al. (1986) trabalhando com dois solos incubados com lodo de esgoto tratado, concluíram que as taxas de mineralização/nitrificação parecem exercer a maior influência no pH do sistema. A decomposição de materiais orgânicos solúveis parece não ter tido grande influência no pH, apesar da esperada diminuição pela produção de ácidos orgânicos.

ALVAREZ & ALFEREZ (1984) informaram que sob *Leucaena multicapitula* o solo apresentou um pH nas camadas superficiais

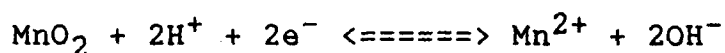
de 4,2 a 5,5, abaixo de 20 cm de 6,0 e a 40 cm 6,2; indicando uma possível neutralização do Al trocável em profundidade.

RITCHIE & DOLLING (1985) estudando a acidificação do solo em pastagens na Austrália, atribuída à acumulação de matéria orgânica, concluíram que seu efeito no pH pode variar amplamente entre solos e entre práticas agrícolas. Acreditam que a função da matéria orgânica na acidificação do solo ainda não é bem compreendida e merece maiores investigações, e afirmaram ainda que a importância da liberação de prótons (H^+) pela matéria orgânica tem sido superestimada como mecanismo de acidificação do solo, isto porque a constante de dissociação dos ácidos orgânicos formados (pK), ao invés da concentração aniônica do material orgânico, tem sido usada como indicador da habilidade dos materiais orgânicos em acidificar os solos.

ERNANI & GIANELLO (1983), após incubarem um solo ácido de elevado poder tampão com esterco de bovinos e cama de galinha, relataram redução do Al trocável de 5,4 meq/100g para 4,8 e 2,5 meq/100g nos tratamentos com 12 t/ha de esterco e 36 t/ha de cama de galinha, respectivamente. As reduções dos tores de Al trocável foram proporcionais à quantidade de material orgânico aplicada, e se mantiveram durante os 120 dias do período experimental. O pH não foi alterado pela adição dos resíduos orgânicos, provavelmente devido ao alto poder tampão do solo. Consideraram que a aplicação anual de resíduos orgânicos, especialmente em pequenas propriedades, pode reduzir sensivelmente a necessidade de aplicação de calcário. Em grandes propriedades, a adoção de sistemas de cultivo que preservem ao máximo a matéria orgânica é importante na medida em que esta se correlaciona positivamente com a acidez pH dependente e mantém certa quantidade de

alumínio complexado, que nesta forma não é absorvido pelas plantas.

ASGHAR & KANESHIRO (1980), ao incubarem um solo ácido (pH 4,4) e rico em manganês (3,08%) com bagaço de cana de açúcar e resíduos de abacaxi por 120 dias, encontraram aumento do pH imediatamente após a incorporação dos resíduos vegetais, sendo que este se manteve durante os 120 dias do período experimental. Atribuíram este aumento no pH à alta concentração de cátions básicos nos materiais orgânicos utilizados, e também à redução do MnO_2 , de acordo com a seguinte equação:



Concluem que a incorporação de resíduos vegetais pode causar toxidez por Mn em solos ácidos com alto teor de Mn.

Encontraram relação inversa entre o pH e o Al extraível, sendo que o aumento na dose de resíduos orgânicos foi acompanhado por redução no Al extraível e elevação no pH. Afirmaram que a incorporação do material vegetal teve efeito corretivo e quelatizante, reduzindo a toxidez do Al em solos ácidos.

BESSHO & CLIVE BELL (1992), estudando os efeitos da aplicação de matéria orgânica na redução da toxidez por Al em solos ácidos, utilizaram como tratamentos folhas de uma leguminosa (*Calliandra calothyrsus*), palha de cevada e calcário. Nos tratamentos com material vegetal aplicaram quantidades equivalentes a 5, 10, 20, 40 e 80 t/ha, enquanto que para o $CaCO_3$ estas quantidades foram de 0,375; 0,75; 1,5; 3,0 e 6,0 t/ha. Após 10 semanas de incubação, a adição dos materiais vegetais elevou o pH do solo e da solução do solo, sendo a folhagem da leguminosa cerca de duas vezes mais

efetiva que a palha da cevada, em qualquer das quantidades aplicadas. Esta diferença foi atribuída à composição dos cátions básicos do material vegetal, pois as folhas da leguminosa apresentavam um conteúdo maior de Ca e Mg do que a palha de cevada, que por sua vez apresentava maior concentração de K e Na. Nos tratamentos com a leguminosa, na dose maior, as percentagens de saturação por Ca+Mg e por Al foram de 86% e 2%, enquanto que na testemunha estas eram de 40% e 49%, respectivamente. Contrastando com a tendência observada nos tratamentos com a leguminosa, a percentagem de saturação por Ca+Mg decresceu ligeiramente nos tratamentos com a palha de cevada, enquanto o K aumentou marcadamente, refletindo os níveis de cátions extraíveis no material vegetal. O Al decresceu de 49% na testemunha para apenas 10% com a maior dose de palha de cevada. Nos tratamentos com CaCO_3 somente a percentagem de saturação por Ca aumentou, tendo a dos demais cátions decrescido. A maior redução ocorreu com o Al, que passou de 40% para 0,3% após as 10 semanas de incubação.

Concluíram que a aplicação de altas doses de folhas de leguminosa e palha de cevada foi efetiva na redução da toxidez por Al. O mecanismo dominante deste efeito foi atribuído ao decréscimo da atividade do Al monomérico na solução do solo como resultado da precipitação de Al solúvel pela elevação do pH da solução do solo e, em menor grau, pela complexação do Al pela matéria orgânica. A maior capacidade de redução do Al monomérico fitotóxico pelas folhas da leguminosa, foi atribuída ao teor relativamente alto de Ca e Mg em relação à palha de cevada.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Os dois experimentos que compõe este trabalho foram conduzidos em casa de vegetação, na estação experimental do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), em Londrina, Paraná.

3.1 - EXPERIMENTO 1: INCUBAÇÃO DE DOIS SOLOS AGRÍCOLAS COM RESÍDUOS DE LEUCENA

3.1.1 - Coleta e preparo dos solos

Coletaram-se amostras da camada superficial (0-20 cm) de um latossolo roxo (LR) e de um latossolo vermelho escuro (LE), nas estações experimentais do IAPAR em Londrina e Paranavaí, respectivamente. Os solos foram selecionados pela sua importância agrícola e por apresentarem diferenças nas características físicas e químicas, tais como, textura, pH, teor de Al, porcentagem de C (tab. 1).

Transferiram-se as amostras para casa de vegetação, onde foram passadas em peneira de malha 10 mm para eliminar torrões, pedras, etc. Sub-amostras de cada solo foram utilizadas para análises química e granulométrica. A seguir determinou-se a umidade de cada amostra de solo através do seguinte procedimento: sub-amostras de solo foram pesadas, determinando-se o peso úmido; em seguida foram colocadas em estufa a 110 °C por uma noite para obter-se o peso seco. A umidade foi calculada utilizando-se a relação peso úmido/peso seco.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DOS SOLOS
UTILIZADOS NO EXPERIMENTO 1.

Parâmetros			Solos	
			LR	LE
pH		(CaCl ₂)	4,3	3,6
C	%	(Walkley & Black)	1,25	0,36
Al	meq/100ml	(KCl)	0,75	1,09
H+Al	meq/100ml	(SMP)	7,85	4,42
Ca	meq/100ml	(KCl)	2,73	0,13
Mg	meq/100ml	(KCl)	1,85	0,08
P	ppm	(Mehlich-1)	4,8	16,7
K	meq/100ml	(Mehlich-1)	0,20	0,02
S	meq/100ml	(soma de bases)	4,78	0,23
T	meq/100ml	(CTC)	12,63	4,65
V	%	(saturação por bases)	37,85	4,95
m	%	(saturação por Al ³⁺)	13,56	82,58
AREIA	%		10	85
SILTE	%		14	1
ARGILA	%		76	14

3.1.2 - Coleta e preparo do material vegetal

Os resíduos de leucena utilizados no experimento foram coletados em setembro de 1991, ao final do inverno, na estação experimental do IAPAR situada no município de Ibiporã. As plantas de *Leucaena leucocephala* apresentavam cerca de 1,5 metros de altura, e foram cortadas com tesoura de poda a uma altura de um metro. Os ramos foram secos em estufa a 60 °C por

72 horas; triturados em triturador de martelos sem peneira, e em seguida moídos em moinho de facas com peneira de 2,0 mm. A relação folha/haste do material foi estimada em 1,38 sendo que o diâmetro das hastes não ultrapassou 10 mm. Amostra do material foi utilizada para análise química, cujo resultado está na tabela 2.

TABELA 2 - ANÁLISE QUÍMICA DOS RESÍDUOS DE LEUCENA

C	N	P	K (%)	Ca	Mg	Cu	Zn	B (ppm)	Mn
51,76	2,56	0,19	1,62	1,12	0,26	10	23	24	54

3.1.3 - Descrição do experimento

Transferiram-se 2,0 kg de solo, com base no peso seco, para sacos plásticos e a seguir adicionaram-se resíduos de leucena em quantidades equivalentes a 0, 10, 20 e 30 t/ha de matéria seca. Considerando-se, densidade aparente de 1,0 g/cm³ para o solo LR e 1,4 g/cm³ para o solo LE, e uma profundidade de 20 cm, calcularam-se as quantidades de resíduos de leucena a serem adicionadas em, 10, 20 e 30 g para as parcelas com o solo LR, e em 7, 14 e 21 g para as parcelas com o solo LE. Os solos foram então umedecidos com água destilada e deionizada até a capacidade de campo, considerando-se capacidade de retenção de água de 35% para o LR e 15% para o LE (HENKLAIN et al., 1986; LARACH et al., 1984).

As quantidades de matéria seca de resíduos de leucena incorporadas aos solos representam produtividades baixa, média e alta esperadas de plantios de leucena nas regiões Norte e

Noroeste do Estado do Paraná. Os tratamentos utilizados foram:

- T10 - LR sem resíduos (testemunha 1)
- T11 - LR + 10 t/ha de resíduos de leucena
- T12 - LR + 20 t/ha de resíduos de leucena
- T13 - LR + 30 t/ha de resíduos de leucena
- T20 - LE sem resíduos (testemunha 2)
- T21 - LE + 10 t/ha de resíduos de leucena
- T22 - LE + 20 t/ha de resíduos de leucena
- T23 - LE + 30 t/ha de resíduos de leucena

3.1.4 - Procedimento de amostragem

Imediatamente após umidecer-se o solo, foram coletadas amostras de cerca de 25 g de solo das parcelas experimentais para determinações de pH e alumínio. Esta amostragem foi considerada como tempo 0 (zero) de incubação. As amostras foram transferidas para estufa a 60 °C por 48 horas e depois moídas manualmente em cadinho de porcelana. As coletas subsequentes foram realizadas em intervalos progressivos, desde três coletas por semana até uma por mês. Os dias de coleta das amostras e respectivo tempo de incubação estão na tabela 3. Aos 180 dias encerrou-se o experimento e realizou-se a análise química das parcelas experimentais.

Ao menos uma vez por semana verificou-se a umidade das parcelas experimentais, e quando se apresentavam secas ao tato eram umidecidas.

3.1.5 - Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi completamente casualizado, com quatro repetições, arranjado num fatorial considerando os dois tipos de solo (LR e LE), e as quatro

quantidades de resíduos de leucena (0, 10, 20 e 30 t/ha), totalizando oito tratamentos. As 32 parcelas experimentais, após sorteio, foram arranjadas em uma mesa (fig. 1).

TABELA 3 - DATAS DE COLETA DAS AMOSTRAS E TEMPOS DE INCUBAÇÃO DO EXPERIMENTO 1

DATA DE COLETA	DIAS DE INCUBAÇÃO
30/10/91	0
01/11/91	2
04/11/91	5
06/11/91	7
08/11/91	9
11/11/91	12
13/11/91	14
15/11/91	16
18/11/91	19
21/11/91	22
25/11/91	26
28/11/91	29
05/12/91	36
12/12/91	43
19/12/91	50
30/12/91	61
13/01/92	75
27/01/92	89
27/02/92	120
27/03/92	149
27/04/92	180

FIGURA 1 - VISTA GERAL DO EXPERIMENTO 1

3.2 - EXPERIMENTO 2: EFEITO DE RESÍDUOS DE LEUCENA NAS CAMADAS SUPERFICIAL E SUB-SUPERFICIAL DE UM LATOSSOLO ROXO

3.2.1 - Coleta e preparo do solo

Coletaram-se amostras das camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-50 cm de um latossolo roxo (LR) na estação experimental do IAPAR em Londrina, no mesmo local utilizado para a coleta do solo LR do experimento 1. Transferiram-se as amostras para casa de vegetação, onde foram passadas em peneira de malha 10 mm para eliminar torrões, pedras, etc. Sub-amostras de cada profundidade foram utilizadas para análises química e granulométrica, cujos resultados estão na tabela 4. A seguir determinou-se a umidade de cada amostra de solo utilizando-se o mesmo procedimento descrito no experimento 1.

3.2.2 - Coleta e preparo do material vegetal

Os resíduos de leucena utilizados foram coletados e preparados conforme relatado no item 3.1.2.

3.2.3 - Descrição do experimento

As amostras de solo foram pesadas e umidecidas com água deionizada até a capacidade de campo e colocadas em tubos de PVC de 20 cm de diâmetro e 60 cm de altura, obedecendo a mesma ordem das camadas no campo, e de forma a apresentar densidade de $1,0 \text{ g/cm}^3$. No fundo dos tubos colocou-se uma camada de 2 cm de areia grossa lavada para facilitar a drenagem. Na camada superior (0-10 cm), foram incorporados 0, 47 e 94 g de resíduos de leucena, correspondentes a 0, 15 e 30 t/ha de matéria seca. Após sorteio, os tubos foram colocados em uma mesa e ao fundo de cada tubo foi conectado um kitazato de

1000 ml de capacidade, onde coletou-se a água de drenagem. O aparato instalado para o experimento é mostrado na figura 2.

FIGURA 2 - VISTA GERAL DO EXPERIMENTO 2

TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DO SOLO
UTILIZADO NO EXPERIMENTO 2

Parâmetros			Profundidade (cm)		
			0-20	20-40	40-50
pH		(CaCl ₂)	4,40	4,10	4,10
C	%	(Walkley & Black)	0,90	0,94	0,29
Al	meq/100ml	(KCl)	0,23	0,78	0,81
H + Al	meq/100ml	(SMP)	6,66	7,85	7,23
Ca	meq/100ml	(KCl)	3,03	3,25	1,90
Mg	meq/100ml	(KCl)	2,06	1,11	0,66
P	ppm	(Mehlich-1)	4,1	1,7	1,3
K	meq/100ml	(Mehlich-1)	0,27	0,07	0,05
S	meq/100ml	(soma de bases)	5,36	3,43	2,61
T	meq/100ml	(CTC)	12,02	11,28	9,84
V	%	(saturação por bases)	44,59	30,40	26,52
m	%	(saturação por Al ³⁺)	4,11	18,52	23,68
AREIA	%		14	13	12
SILTE	%		10	10	10
ARGILA	%		76	77	78

3.2.4 - Procedimento de amostragem

O experimento foi iniciado dia 8 de janeiro de 1992, quando as colunas de solo foram completadas. Cinco dias após, dia 13, foram adicionados três litros d'água por tubo, quantidade equivalente a 95,5 mm de chuva. No dia seguinte coletou-se a água de drenagem aplicando vácuo para retirar o excesso. Duas semanas depois, no dia 27, segunda feira, colocaram-se dois litros d'água por tubo, equivalentes a 63,7 mm de chuva. Efetuou-se nova coleta da água de drenagem na quinta feira seguinte. A partir da segunda feira seguinte, dia 3 de fevereiro, até o final do experimento, o procedimento foi sempre igual; um litro de água deionizada, equivalente a 31,8 mm de chuva, foi adicionado a cada tubo na segunda feira e a coleta realizada na quinta feira. As quantidades de água adicionadas totalizaram 800 mm em 6 meses; valor próximo da metade da média anual de precipitação em Londrina, que é de 1615mm (CORREIA e BERNARDES, 1982).

As coletas da água de drenagem nas colunas de solo, foram executadas com auxílio de vácuo aplicado em cada kitazato por 10 minutos.

Da água de drenagem coletada mediu-se o volume e determinaram-se as concentrações de nitrato e alumínio e o pH.

Seis meses após a instalação encerrou-se o experimento, e de cada coluna de solo foram retiradas amostras das camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50cm e enviadas ao laboratório para análise química de rotina.

3.2.5 - Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi completamente casualizado com três tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram

constituídos pelas três quantidades de matéria seca de resíduos de leucena incorporadas à camada superficial das colunas de solo:

T1 - sem leucena (testemunha)

T2 - 15 t/ha de resíduos de leucena

T3 - 30 t/ha de resíduos de leucena

3.3 - PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

Os procedimentos das análises dos solos e dos resíduos de leucena, foram os utilizados no laboratório de solos e tecido vegetal do IAPAR em Londrina.

3.3.1 - Análises de solo

O pH foi determinado por potenciometria numa solução de CaCl_2 0,01 M na relação 1:2,5 (solo/ CaCl_2); e a acidez potencial (H + Al) foi determinada potenciométricamente com solução SMP (PAVAN et al., 1992; RAIJ et al., 1987).

O carbono foi analisado após oxidação da matéria orgânica do solo por dicromato em presença de ácido sulfúrico e determinado por titulação com solução de sulfato ferroso (MUZZILI et al., 1978; PAVAN et al., 1992).

Alumínio, cálcio e magnésio foram extraídos com solução de KCl 1 N na relação 1:10 (solo/KCl). Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o Al determinado por titulação com NaOH 0,01 N (MUZZILI et al., 1978; PAVAN et al., 1992).

O fósforo e o potássio foram extraídos por troca iônica com solução de HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N (Mehlich-1), sendo o P determinado por colorimetria e o K por fotometria de chama (MUZZILI et al., 1978; PAVAN et al., 1992).

A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta com desagregação do solo em agitador rotativo e dispersão em NaOH a 4% (MUZZILI et al, 1978).

A saturação por bases (V) foi calculada pelas seguintes equações:

$$SB = Ca + Mg + K \quad CTC = SB + (H + Al)$$

$$V = \frac{100 \text{ SB}}{CTC}$$

A saturação por alumínio (m) foi calculada através da expressão:

$$m = \frac{100 \text{ Al}}{SB + Al}$$

3.3.2 - Análises da água de drenagem

As análises da água de drenagem foram feitas para determinação de pH, alumínio e nitrato.

O pH foi determinado por potenciometria colocando-se o eletrodo diretamente na solução do solo.

O alumínio foi determinado por colorimetria pelo método do ferron conforme KUBOTA et al. (1986).

O nitrato foi determinado por espectrofotometria de absorção ultra-violeta (MIYAZAWA et al., 1985).

3.3.3 - Análises dos resíduos de leucena

Os elementos Ca, Mg, K, Mn, Cu, e Zn foram extraídos dos tecidos vegetais com solução de HCl N. O K foi determinado por fotometria de chama, e os demais elementos por espectrofotometria de absorção atômica (MENDOZA e JAVIER, 1980; MIYAZAWA et al., 1985).

Os elementos P e N foram extraídos por digestão sulfúrica na presença de H_2O_2 , e determinados por colorimetria com azul de molibdênio e com azul de indofenol, respectivamente (PAVAN et al., 1984a; MIYAZAWA et al., 1992).

O B foi extraído com solução de HCl 0,6 N, após incineração da amostra de tecido em mufla a 600 °C, e determinado por colorimetria com Azometine-H (CORREA et al., 1985; MIYAZAWA et al., 1992).

O carbono foi determinado, após oxidação da matéria orgânica com dicromato em meio ácido, por titulação com solução de sulfato ferroso (MUZZILI et al., 1978; PAVAN et al., 1992).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas com as análises estatísticas (A1 até A30) se encontram no Anexo.

4.1 - EXPERIMENTO 1 - INCUBAÇÃO DE DOIS SOLOS AGRÍCOLAS COM RESÍDUOS DE LEUCENA

4.1.1 - A reação do solo (pH)

O pH dos solos aumentou com a adição dos resíduos de leucena. Houveram diferenças significativas para os fatores solo e dose. A interação foi significativa entre os fatores, indicando que os solos responderam de maneira diferenciada ao aumento da dose de resíduos de leucena (tab. A1).

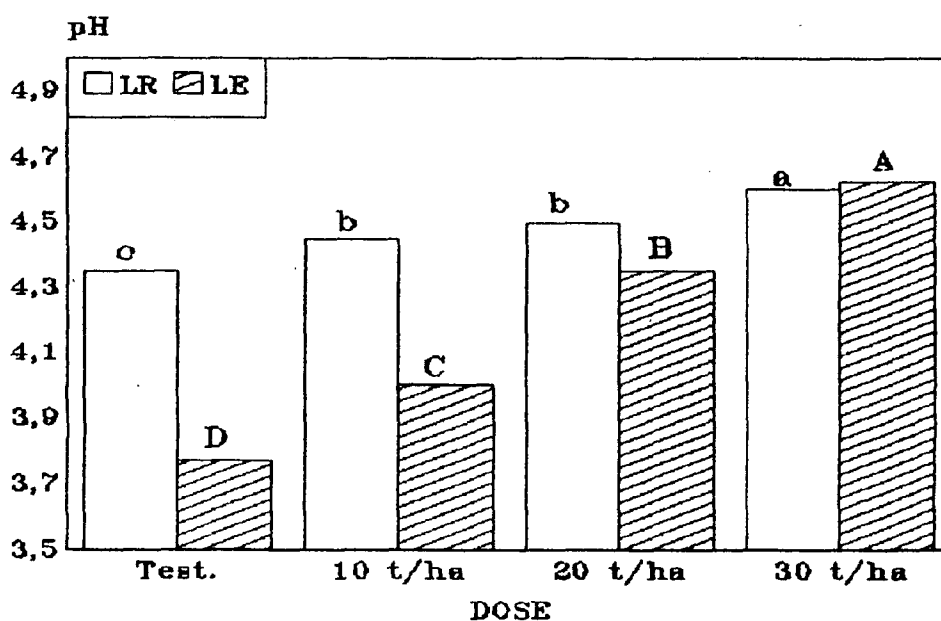
O teste de comparação das médias de pH em cada solo aos 180 dias de incubação, mostrou que os tratamentos com leucena foram significativamente superiores à testemunha em ambos os solos. No LR a dose 10 t/ha não apresentou diferença significativa da dose 20 t/ha, as demais comparações foram significativas. No LE houveram diferenças significativas entre todas as doses (tab. A2 e fig. 3).

Aumentos de pH em solos ácidos pela adição de resíduos vegetais foram também relatados por BESSHO & CLIVE BELL (1992), ASGHAR & KANESHIRO (1980), HUE & AMIEN (1989), RITCHIE & DOLLING (1985) e por HOYT & TURNER (1975).

Na figura 3 pode ser observada a resposta mais pronunciada do LE às doses crescentes de resíduos. A alteração

provocada pela dose maior (30 t/ha) foi de 22,5% no LE, enquanto que no LR foi de apenas 5,8%. A diferença na intensidade da resposta entre os solos era esperada em virtude do maior poder tampão do LR.

FIGURA 3 - MÉDIAS DE pH AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA*



As determinações realizadas em diversas épocas durante o período experimental (fig. 4 e 5), mostraram que o aumento do pH ocorreu imediatamente após a incorporação e manteve-se durante os seis meses de incubação, independente das variações provocadas pelo processo de incubação.

HOYT & TURNER (1975) e ASGHAR & KANESHIRO (1980) encontraram aumento do pH imediatamente após a incorporação de resíduos vegetais, sendo que estes atribuíram o aumento à alta concentração de cátions básicos no material vegetal.

*Barras com as mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%

RITCHIE & DOLLING (1985) sugerem como um dos mecanismos responsáveis pela elevação do pH a mineralização de ânions orgânicos a CO_2 e água (removendo H^+). Consideram a natureza alcalina do material orgânico ou concentração aniônica, como o fator mais importante para explicar a variação do pH em sistemas como o estudado, ou seja, incorporação de material vegetal num solo bem aerado na ausência de plantas.

Após seis meses de incubação os valores de pH retornaram aos níveis iniciais no trabalho de HOYT & TURNER (1975), ao contrário do observado neste experimento. ASGHAR & KANESHIRO (1980) e ERNANI & GIANELLO (1983) observaram que o aumento no pH devido à adição de resíduos orgânicos se manteve durante todo o período experimental (120 dias). Supõe-se que estas diferenças na duração do efeito sejam devidas principalmente às diferentes taxas de mineralização dos resíduos orgânicos utilizados.

HUE (1992) sugeriu dois mecanismos para explicar o aumento do pH do solo pelos resíduos vegetais: (1) reação de troca entre os ânions orgânicos e as hidroxilas terminais dos óxidos de Fe e Al, e (2) redução dos óxidos de Mn e Fe produzindo OH^- devido à oxidação da matéria orgânica.

Independente dos mecanismos envolvidos no aumento do pH, os resíduos de leucena podem desempenhar um papel importante na reação dos solos ácidos.

FIGURA 4 - MÉDIAS DE pH NO LR DURANTE A INCUBAÇÃO

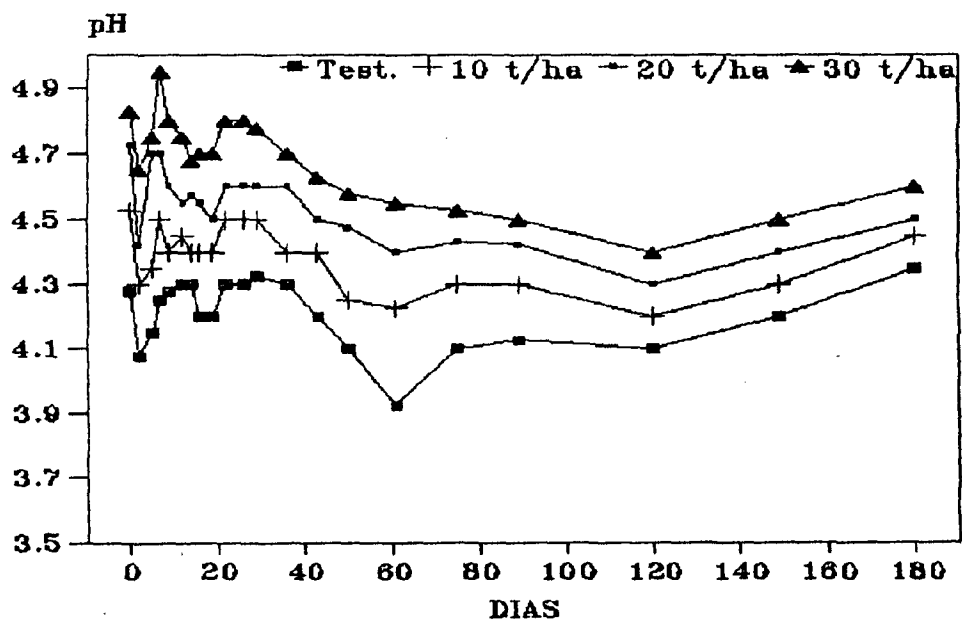
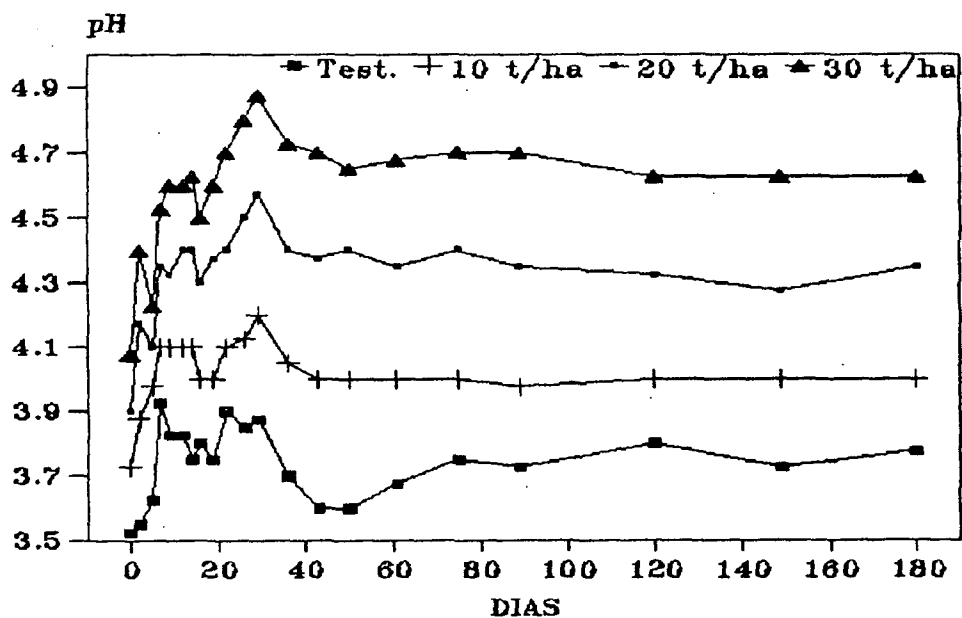


FIGURA 5 - MÉDIAS DE pH NO LE DURANTE A INCUBAÇÃO



4.1.2 - Alumínio (Al)

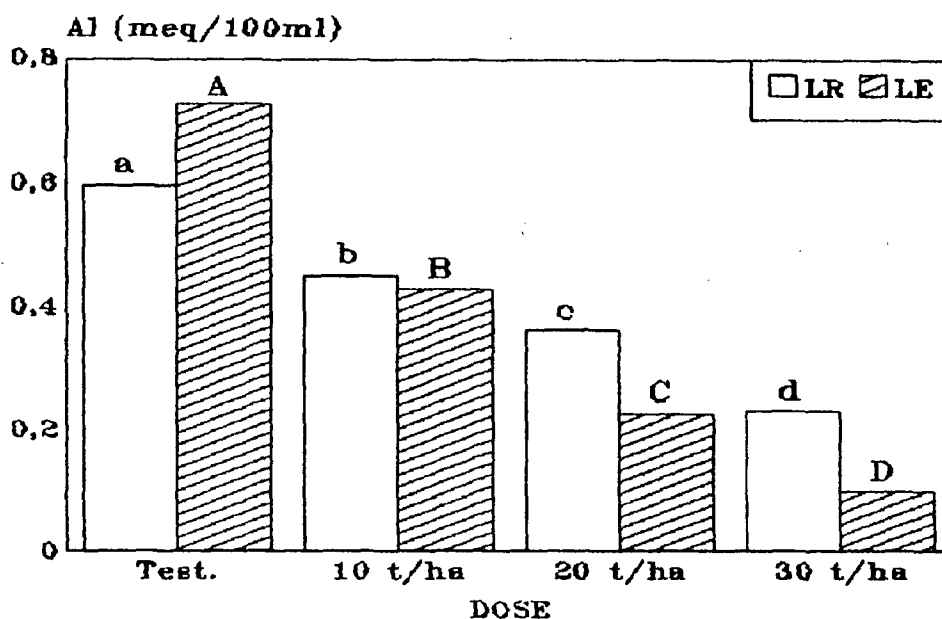
A quantidade de Al trocável em solução de KCl N diminuiu com a adição dos resíduos em ambos os solos. Houveram

diferenças significativas para os fatores solo e dose, bem como para a interação entre os fatores, indicando que a resposta às doses foi diferente para cada solo (tab. A3).

Após os 180 dias de incubação as diferenças entre os tratamentos foram estatisticamente significativas dentro de cada solo (tab. A4 e fig. 6). A redução nos teores de Al trocável foi diretamente proporcional à quantidade de resíduos de leucena aplicada. Redução do Al após incorporação de resíduos vegetais foram relatadas também por HUE & AMIEN (1989), HUE (1992), HOYT & TURNER (1975), ASGHAR & KANESHIRO (1980) e BESSHO & CLIVE BELL (1992).

A redução do Al trocável foi mais pronunciada no LE, fato explicado pela maior acidez potencial do LR (fig. 6).

FIGURA 6 - MÉDIAS DE Al AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA*



*Barras com as mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Os teores de Al trocável determinados em diversas épocas durante a incubação mostraram que o efeito dos tratamentos com leucena manteve-se durante todo o período experimental, em ambos os solos, independente das oscilações devidas ao processo de incubação (fig. 7 e 8). A rápida redução dos teores de Al após a incorporação de resíduos orgânicos é consistente com o relatado por HOYT & TURNER (1975) e por ERNANI & GIANELLO (1983), que atribuíram esta redução à complexação do Al pelos componentes solúveis dos resíduos.

Resultados semelhantes foram obtidos por ASGHAR & KANESHIRO (1980) e por BESSHO & CLIVE BELL (1992). Enquanto aqueles atribuíram a redução do Al trocável à elevação do pH, estes concluíram que além do efeito do pH houve também complexação do Al pela matéria orgânica, embora em menor grau.

HUE (1992) atribuiu o efeito de redução da toxidez por Al a dois processos principais: (1) precipitação do Al por OH^- liberado pelas reações de troca entre ânions orgânicos e hidroxilas terminais do óxidos de Al ou Fe ou, em menor grau, pelas reações de redução dos óxidos de Fe e Mn no solo, e (2) complexação de Al solúvel por moléculas orgânicas, particularmente por ácidos orgânicos de baixo peso molecular.

Independente dos mecanismos envolvidos, os resíduos de leucena revelaram capacidade de reduzir os teores de Al trocável nos solos ácidos estudados.

FIGURA 7 - MÉDIAS DE Al NO LR DURANTE A INCUBAÇÃO

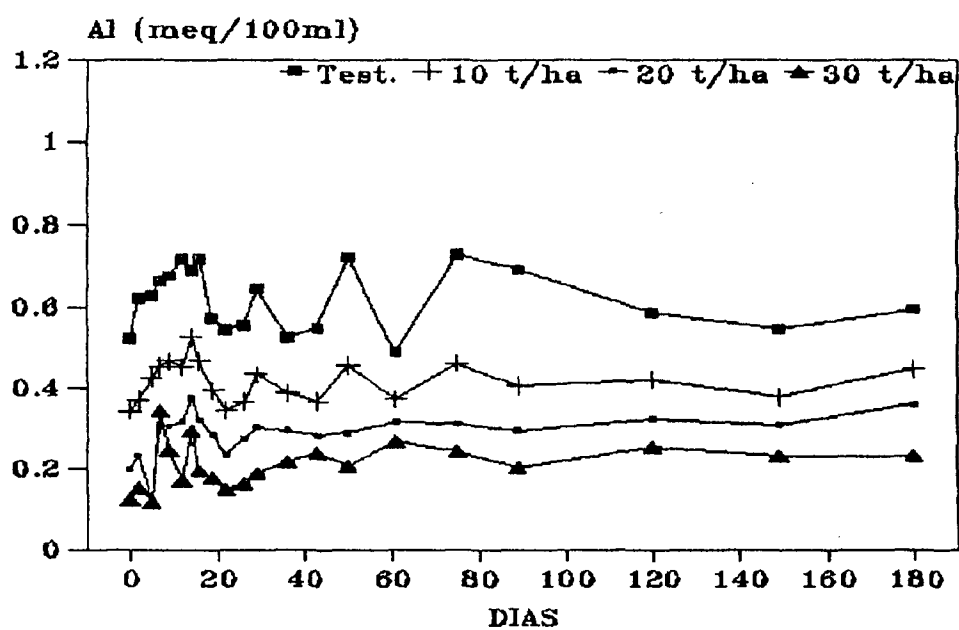
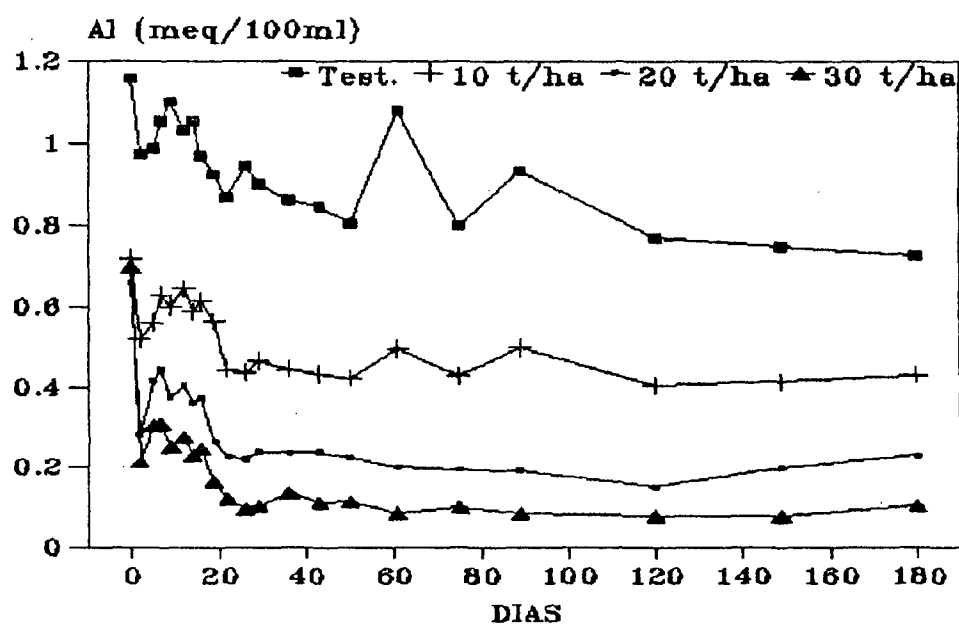


FIGURA 8 - MÉDIAS DE Al NO LE DURANTE A INCUBAÇÃO

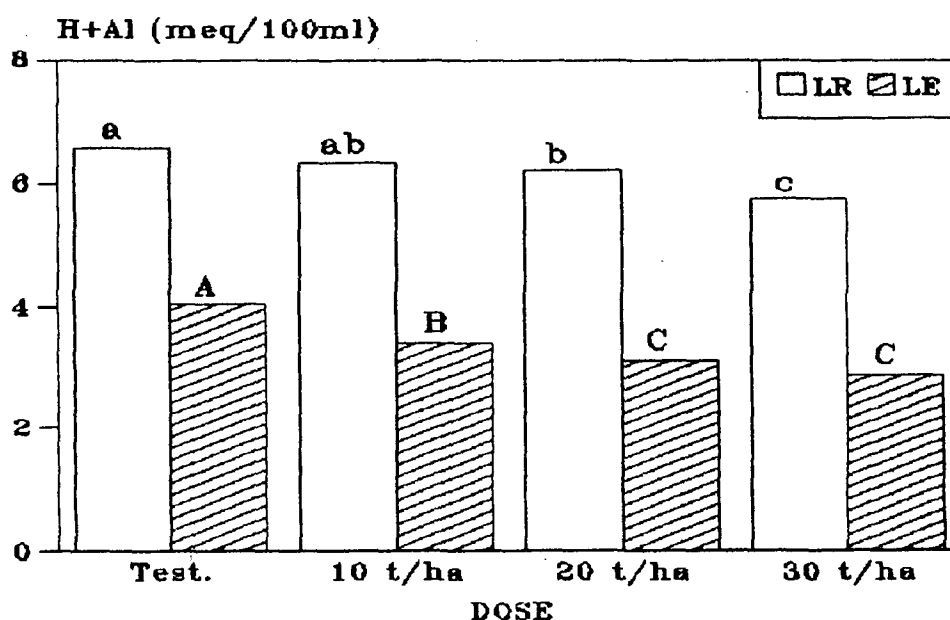


4.1.3 - Acidez potencial (H+Al)

A acidez potencial diminuiu com o aumento da dose de resíduos de leucena em ambos os solos. Houveram diferenças significativas para os fatores dose e solo e para a interação entre estes fatores, indicando o comportamento diferenciado dos solos em relação às doses aplicadas (tab. A5).

A comparação de médias mostrou que, no LR a testemunha se diferenciou significativamente das doses 20 e 30 t/ha, e não da dose 10 t/ha, que não se diferenciou da dose 20 t/ha. No LE a dose maior não diferiu significativamente da dose 20 t/ha, sendo as demais comparações significativamente diferentes (tab. A6 e fig. 9).

FIGURA 9 - MÉDIAS DE H+Al AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA*



*Barras com as mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%

A redução da acidez potencial foi mais acentuada no LE, onde chegou a 28,4% para a maior dose (30 t/ha), enquanto que no LR foi de 12,3%. A resposta mais pronunciada do LE às doses de resíduos de leucena seguiu a mesma tendência observada nas variáveis pH e Al trocável.

A redução do H+Al, explicada pela elevação do pH, implica em aumento dos sítios de troca para adsorção de cátions básicos, refletindo melhoria na fertilidade do solo.

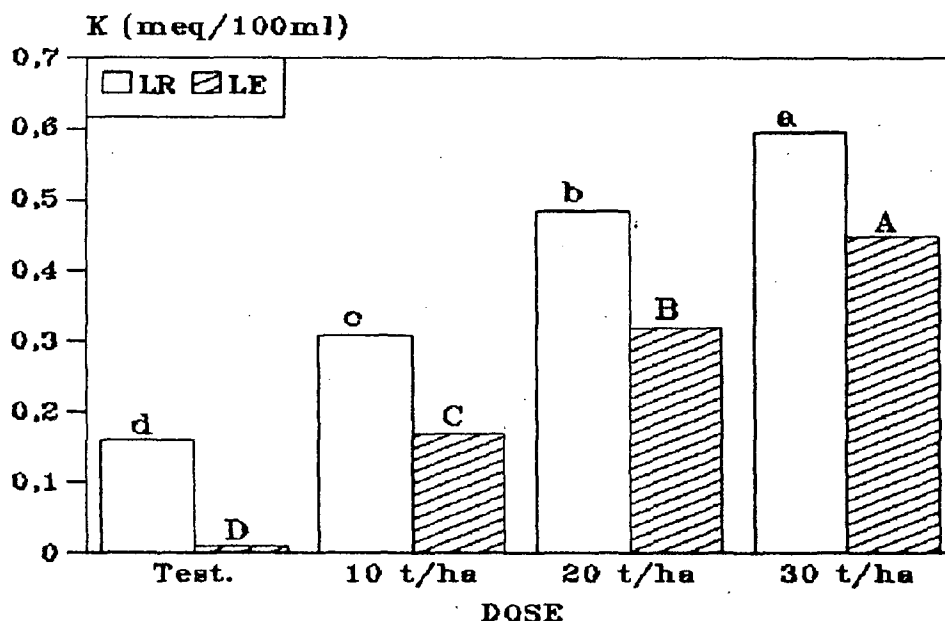
4.1.4 - Potássio (K)

A análise de variância acusou diferenças significativas para os fatores dose e solo. Não houve interação significativa entre os fatores, indicando que o efeito das doses foi independente do tipo de solo (tab. A7).

O teste de comparação de médias mostrou diferenças significativas entre todas as doses dentro de cada solo (tab. A8 e fig. 10).

O teor de K aumentou com a incorporação dos resíduos de leucena de maneira proporcional à dose aplicada. Atribui-se o aumento do K à mineralização do elemento contido nos resíduos. As quantidades adicionadas com os resíduos de leucena foram de cerca de 0,21; 0,42 e 0,63 meq de K por 100ml de solo. As diferenças encontradas entre os tratamentos e a testemunha, estiveram entre 70 a 79% do K adicionado, aproximadamente.

FIGURA 10 - MÉDIAS DE K AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA*



4.1.5 - Cálcio (Ca)

Houveram diferenças significativas entre os tratamentos para os fatores dose e solo, não se observando interação significativa entre os fatores, evidenciando que a resposta às doses foi independente do solo (tab. A9).

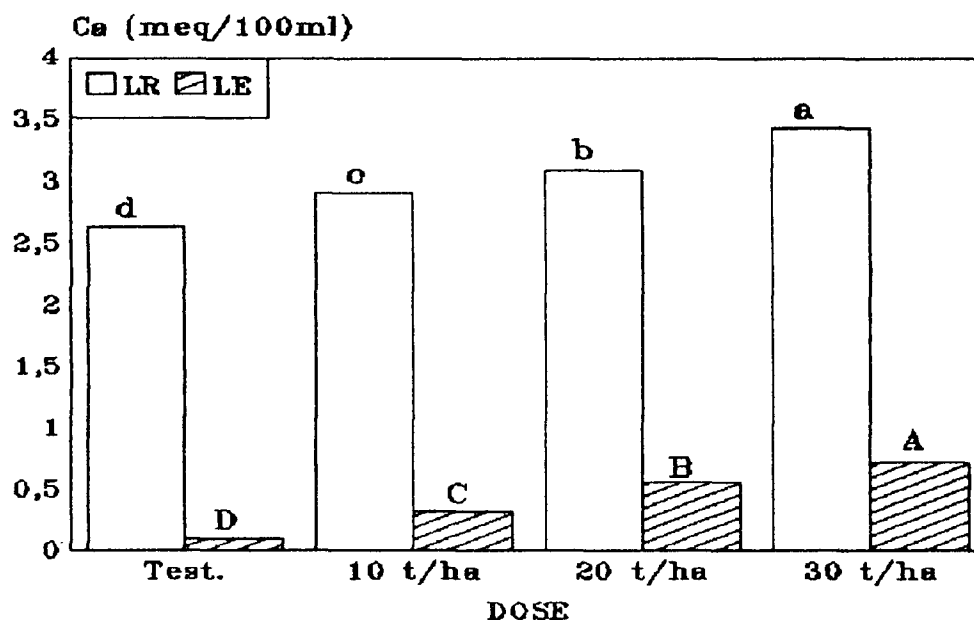
O teste de comparação de médias mostrou diferenças significativas entre todas as doses dentro de cada solo (tab. A10 e fig. 11).

Os teores de Ca aumentaram em ambos os solos com a adição dos resíduos de leucena. Este efeito pode ser atribuído à mineralização do elemento contido nos resíduos. As quantidades de Ca adicionadas nos tratamentos 10, 20 e 30 t/ha, foram respectivamente de 0,28; 0,56 e 0,84 meq de Ca por 100ml de solo. As diferenças encontradas entre os tratamentos

*Barras com as mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%

com leucena e a testemunha, estiveram entre 75 a 96,4% do Ca adicionado.

FIGURA 11 - MÉDIAS DE Ca AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA*



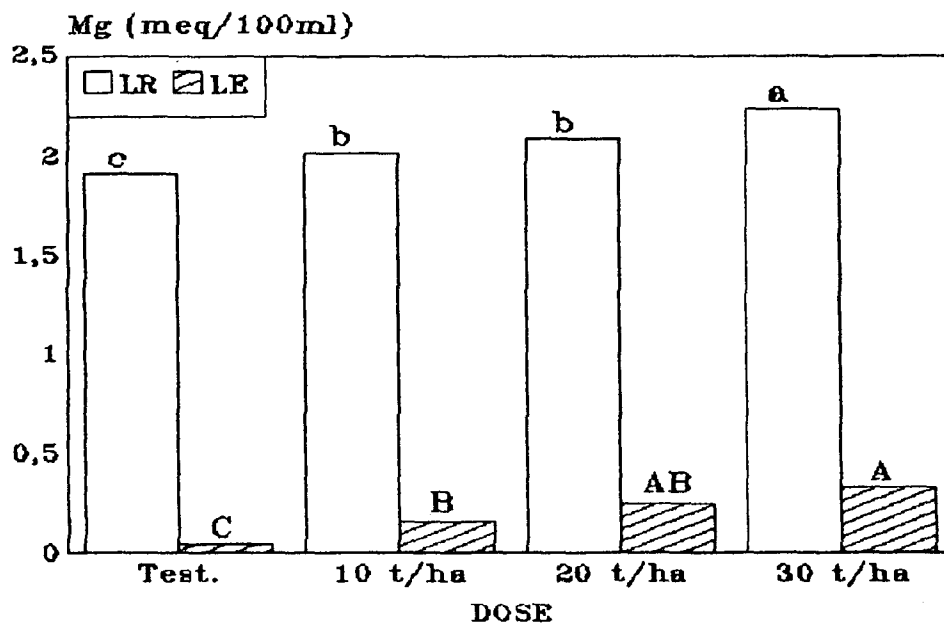
4.1.6 - Magnésio (Mg)

A análise de variância acusou diferenças significativas para os fatores dose e solo, e revelou que a interação dos fatores não foi significativa, demonstrando que o fator dose foi independente do tipo de solo (tab. A11).

O teste de comparação de médias não acusou diferença significativa entre as doses 10 e 20 t/ha no LR, sendo as demais comparações significativas. No LE, as doses 20 e 30 t/ha não diferiram significativamente, e as demais comparações foram significativamente diferentes (tab. A12 e fig. 12).

*Barras com as mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%

FIGURA 12 - MÉDIAS DE Mg AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA*



A adição dos resíduos de leucena elevou o teor de Mg em ambos os solos, efeito atribuído à mineralização do elemento contido nos resíduos. As quantidades de Mg adicionadas com os resíduos foram de aproximadamente 0,11; 0,22 e 0,33 meq/100ml de solo, para as doses 10, 20 e 30 t/ha, respectivamente. As diferenças entre a testemunha e os tratamentos com leucena oscilaram em torno de 81,8 a 100% da quantidade adicionada.

4.1.7 - Fósforo (P)

O comportamento do P foi oposto em cada um dos solos. Enquanto no LR o teor de P extraível tendeu a elevar-se com o aumento da dose de resíduos de leucena, no LE houve redução.

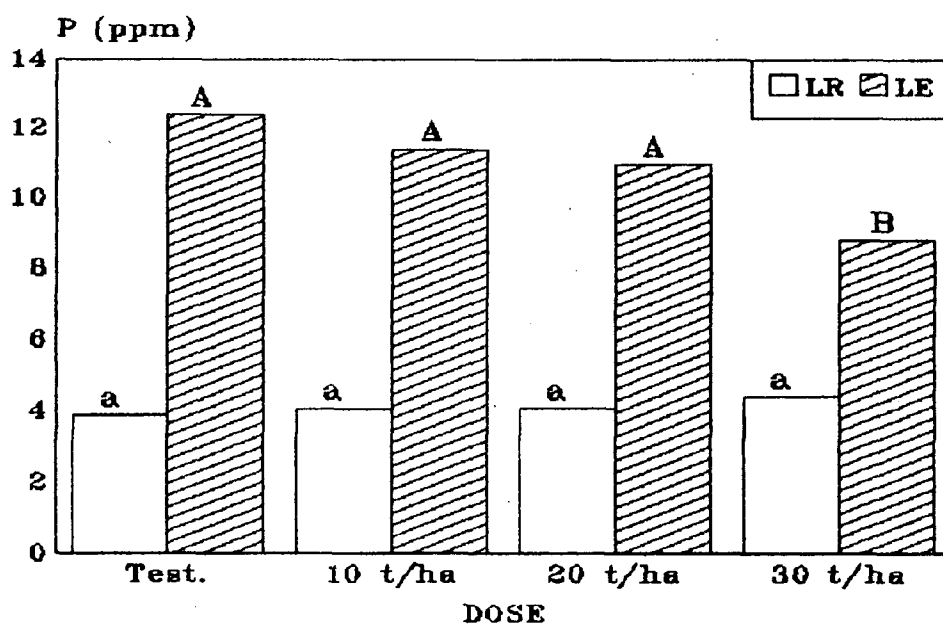
Observou-se diferença significativa entre os solos e entre as doses. A interação entre os fatores dose e solo foi

*Barras com as mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%

significativa, revelando que os solos responderam de maneira diferenciada ao fator dose (tab. A13).

As diferenças encontradas entre os tratamentos no LR foram estatisticamente não significativas, e no LE apenas a dose maior apresentou diferenças significativas dos demais tratamentos (tab. A14 e fig. 13).

FIGURA 13 - MÉDIAS DE P AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA*



As quantidades de P adicionadas pelos resíduos de leucena foram de cerca de 9,5; 19 e 28,5 ppm, para os tratamentos 10, 20 e 30 t/ha, respectivamente. As diferenças entre os tratamentos com leucena e a testemunha, no LR, foram de 1 a 2% da quantidade adicionada, mostrando que a maior parte do P adicionado não foi extraído pelo extrator utilizado (Mehlich-1). No LE, a aplicação dos resíduos de leucena, na

*Barras com as mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%

dose de 30 t/ha, reduziu significativamente o teor de P extraível. O processo de incubação resultou em diminuição dos teores de P extraível das testemunhas, em relação aos teores iniciais, nos dois solos.

Estes resultados não puderam ser explicados devido à complexa dinâmica do P no solo. Entretanto, independente dos mecanismos envolvidos na redução dos teores de P extraível, tal fato não implica necessariamente em redução da disponibilidade do P para as plantas, pois LE MARE et al. (1987) encontraram que a adubação verde aumentou a adsorção de P num Oxisol no cerrado brasileiro, mas que este P adsorvido era facilmente trocado com a solução do solo, resultando em maior disponibilidade para as plantas.

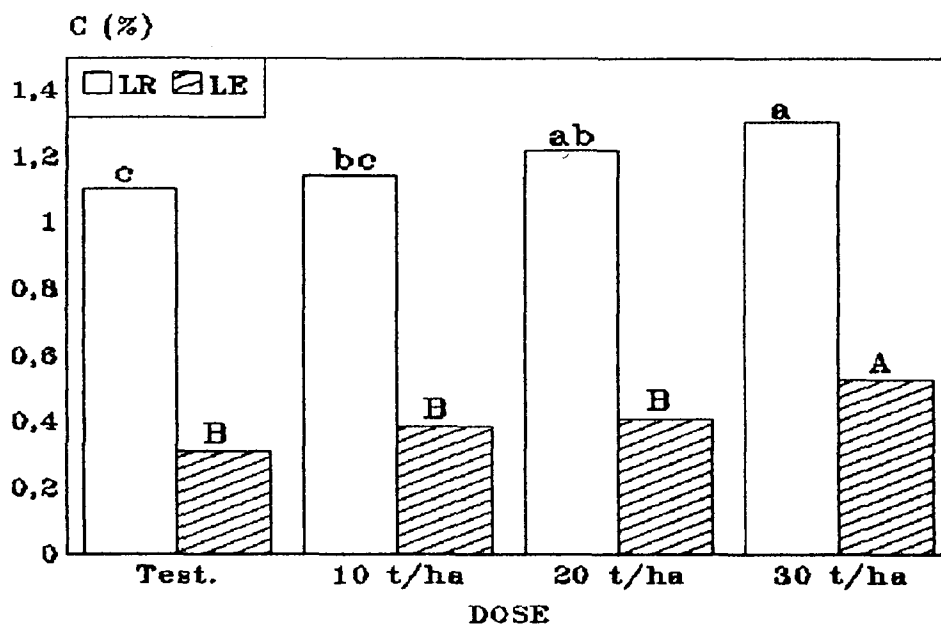
4.1.8 - Carbono (C)

Houveram diferenças significativas entre os tratamentos para os fatores dose e solo. A interação entre os fatores não foi significativa, indicando que a resposta ao fator dose foi independente do tipo de solo (tab. A15).

O teste de comparação de médias mostrou que, para o LR, a testemunha diferiu das doses 20 e 30 t/ha e não da dose 10 t/ha, que diferiu da dose maior, e a dose 30 t/ha não diferiu da dose 20 t/ha. No LE, a dose 30 t/ha se diferenciou das demais, que não diferiram entre si (tab. A16 e fig. 14).

O teor de Carbono foi elevado pelos resíduos de leucena em ambos os solos de maneira proporcional ao aumento da dose. Foram adicionadas 0,26; 0,52 e 0,78 gramas de C por 100ml de solo para as doses 10, 20 e 30 t/ha, respectivamente. Os aumentos verificados, após os seis meses de incubação, nos tratamentos com leucena, foram de 15 a 30% do C adicionado.

FIGURA 14 - MÉDIAS DE C AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA*



4.1.9 - Saturação por Alumínio (m%)

A saturação do complexo de troca por Al foi reduzida significativamente pela aplicação dos resíduos de leucena. Houveram diferenças significativas para os fatores dose e solo. A interação dos fatores foi significativa, revelando que os solos responderam de maneira diferenciada ao fator dose (tab. A17).

O teste de comparação de médias revelou que, para o LE, todas as doses se diferenciaram significativamente entre si, enquanto no LR as diferenças foram significativas apenas entre a testemunha e as doses 20 e 30 t/ha (tab. A18 e fig. 15).

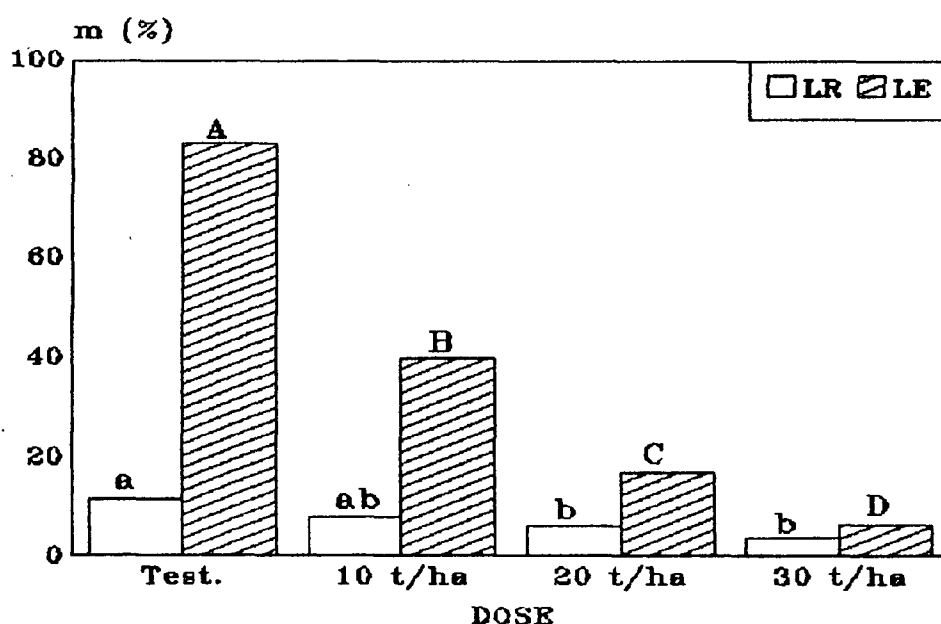
Considerando-se os índices propostos em MUZILLI & IGUE (1976), verifica-se que a testemunha apresentava grau médio de saturação por alumínio (5 a 45%) no LR, e alto grau de

* Barras com as mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%

saturação (>45%) no LE. A adição de resíduos de leucena na dose de 30 t/ha levou o LR a um baixo grau de saturação por alumínio (<5%). A dose 10 t/ha foi suficiente para reduzir de alto para médio o grau de saturação do LE.

A diferença na intensidade da resposta entre os solos reflete a maior redução do Al trocável encontrada no LE em relação ao LR.

FIGURA 15 - MÉDIAS DE SATURAÇÃO POR Al AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA*



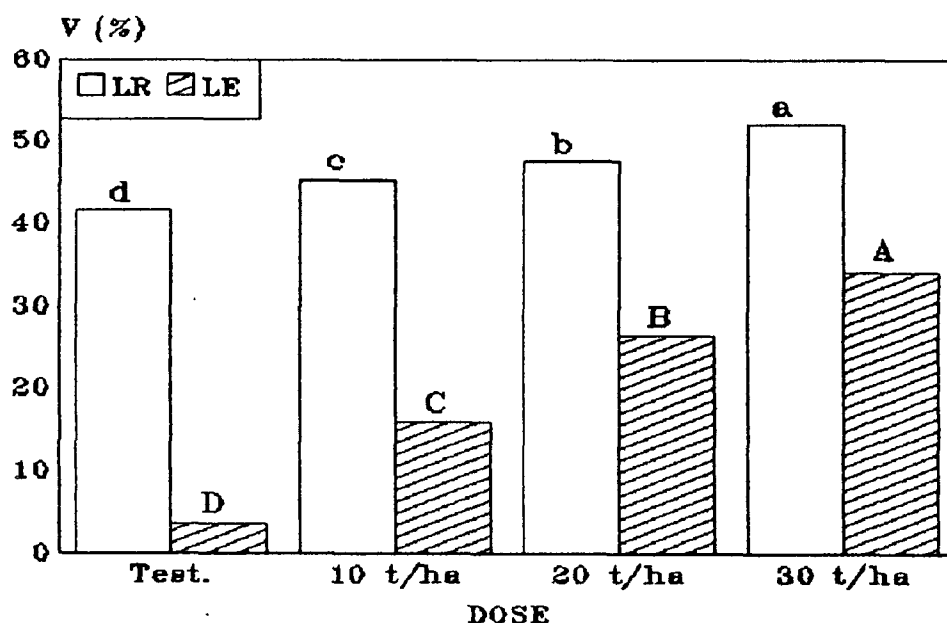
4.1.10 - Saturação por bases (V%)

A saturação por bases foi elevada com a adição dos resíduos de leucena em ambos os solos com o aumento da dose. A análise de variância acusou diferenças significativas para os fatores dose e solo, e para a interação, revelando que a resposta às doses foi dependente do tipo de solo (tab. A19).

*Barras com as mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%

O teste de comparação de médias mostrou haverem diferenças significativas entre todos os tratamentos dentro de cada solo (tab. A20 e fig. 16). Os aumentos encontrados entre a testemunha e a dose 30 t/ha foram de aproximadamente 10,4% no LR e 30,6% no LE. A maior resposta do LE reflete seu menor poder tampão e sua maior redução da acidez potencial em relação ao LR.

FIGURA 16 - MÉDIAS DE SATURAÇÃO POR BASES AOS 180 DIAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE RESÍDUOS DE LEUCENA*



*Barras com as mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%

4.2 - EXPERIMENTO 2 - EFEITO DE RESÍDUOS DE LEUCENA NAS CAMADAS SUPERFICIAL E SUB-SUPERFICIAL DE UM LATOSSOLO ROXO

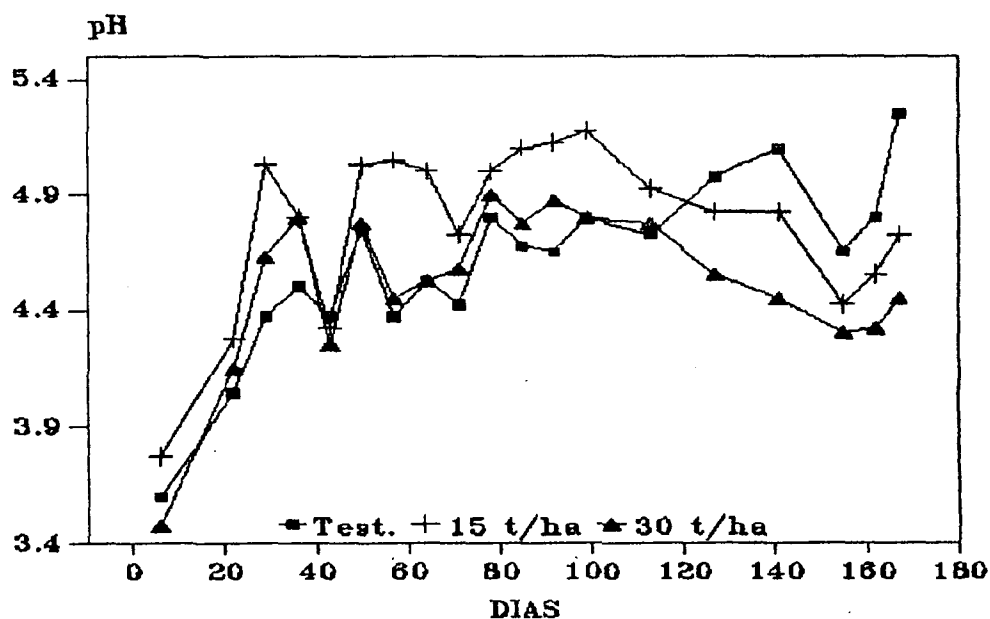
4.2.1 - Análises na água de drenagem

4.2.1.1 - pH da água de drenagem (pH_d)

Aos 169 dias, todos os tratamentos acusaram aumentos no pH_d em relação ao valor inicial. Nos dois terços iniciais do período experimental, aproximadamente, os tratamentos com leucena apresentaram elevação no pH da água drenada das colunas de solo, embora não de maneira proporcional, pois o efeito da dose intermediária foi mais pronunciado que o da dose maior. No terço final, o pH_d dos tratamentos com leucena diminuiu em relação à testemunha de maneira proporcional à dose de resíduos aplicada (fig. 17).

O maior aumento no pH_d proporcionado pelos resíduos de leucena nos dois terços iniciais do período experimental pode ser atribuído à adsorção de H^+ pelos compostos orgânicos hidrossolúveis. Na fase final do período experimental, após a saturação desses compostos orgânicos com H^+ , ocorreu a acidificação da água de drenagem, indicando um novo equilíbrio químico na solução do solo. Outro fator a ser considerado são as reações do nitrogênio no solo. A acidificação do pH_d proporcional à dose dos resíduos, na fase final do experimento, pode ser atribuída às reações de nitrificação que liberam H^+ na solução do solo.

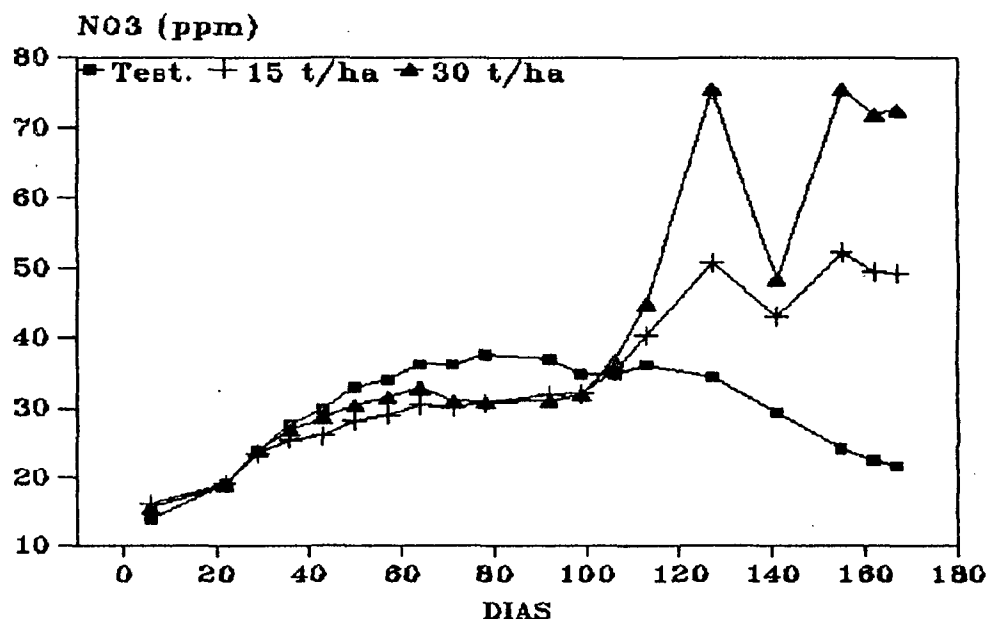
FIGURA 17 - VALORES DE pH DA ÁGUA DE DRENAGEM DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL (médias de 4 repetições)



4.2.1.2 - Nitrato

O teor de N-NO_3^- determinado na água de drenagem aumentou nos tratamentos com leucena depois de aproximadamente dois terços do período experimental (fig. 18), indicando mineralização do N-orgânico. O aumento de nitratos na água de drenagem sugere lixiviação de cátions como íons acompanhantes, consequentemente contribuindo para a acidificação do solo.

FIGURA 18 - TEORES DE NITRATO NA ÁGUA DE DRENAGEM DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL (médias de 4 repetições)



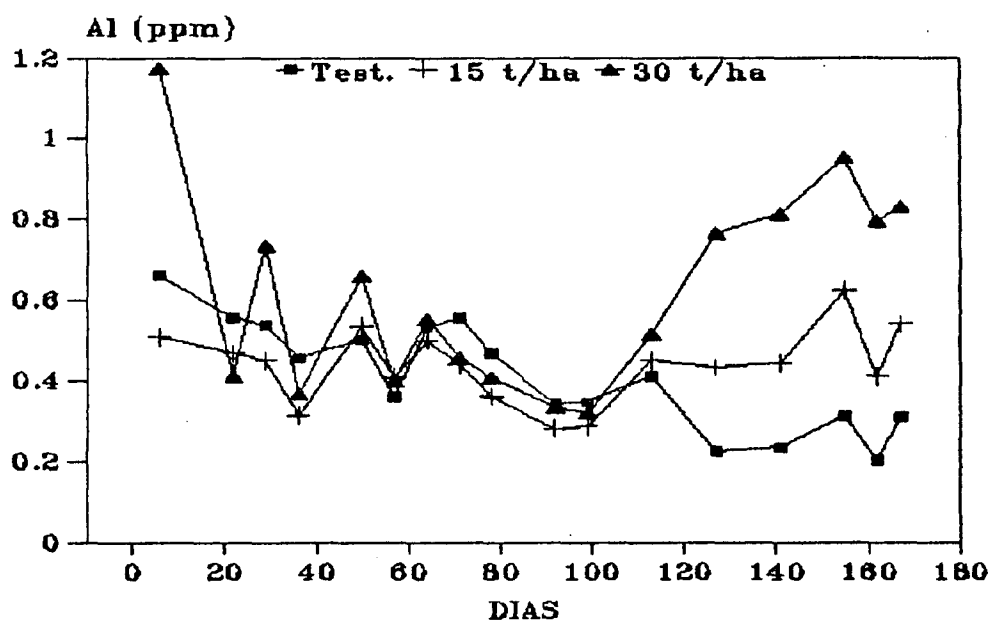
4.2.1.3 - Alumínio

Os teores de Al determinados na água de drenagem durante o período experimental mostraram que, a semelhança do pH_d e dos teores de nitrato na água de drenagem, houve uma resposta mais definida a partir do terço final do período experimental (fig. 19). Os tratamentos com leucena apresentaram, ao final desse período, elevação dos teores de Al proporcionais à dose aplicada, revelando que o elemento estava sendo carregado para camadas mais profundas por lixiviação, possivelmente complexado com ânions orgânicos.

HUE et al. (1986) observaram que a movimentação de ácidos orgânicos diminuiu a toxidez por Al nas camadas sub-superficiais do solo e favoreceu o desenvolvimento das raízes das plantas. Este efeito dos ácidos orgânicos no Al em profundidade do solo não tem sido obtido com a aplicação superficial de calcário (PAVAN et al., 1984b).

A lixiviação do Al, apesar das pequenas quantidades carregadas, foi um dos efeitos benéficos dos resíduos de leucena, podendo favorecer um maior desenvolvimento das raízes em profundidade pela diminuição da toxidez por Al nas camadas sub-superficiais do solo.

FIGURA 19 - TEORES DE Al NA ÁGUA DE DRENAGEM DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL (médias de quatro repetições)



4.2.2 - Análises das camadas de solo

4.2.2.1 - A reação do solo (pH)

O pH variou significativamente entre as doses na camada de 0-10cm e nas camadas de 30-40 e 40-50cm, e não houveram diferenças significativas entre as doses nas camadas de 10-20 e 20-30cm (tab. A21).

O pH na camada 0-10cm foi significativamente aumentado,

enquanto que na camada adjacente o aumento verificado não foi significativo. As duas camadas inferiores apresentaram redução significativa no pH para a dose de 30 t/ha (tab. 5).

O aumento do pH na camada de 0-10cm onde houve a incorporação foi menor que o observado no experimento 1 entre a testemunha (LR) e a dose 30 t/ha, provavelmente em função da lixiviação promovida pela irrigação. Na segunda camada a tendência foi a mesma observada na camada superior, entretanto esta não apresentou diferenças significativas. A partir da camada de 20-30cm, houve tendência à acidificação do solo, possivelmente em função de acumulação de compostos nitrogenados e incremento das reações de nitrificação.

TABELA 5 - MÉDIAS DE pH DOS TRATAMENTOS POR CAMADA

Camada (cm)	Tratamento		
	test.	15 t/ha	30 t/ha
0 - 10	4,40b	4,50ab	4,53a
10 - 20	4,40a	4,48a	4,45a
20 - 30	4,25a	4,25a	4,23a
30 - 40	4,20a	4,20a	4,13b
40 - 50	4,20a	4,20a	4,13b

Médias em cada linha seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.2.2 - Alumínio (Al)

Os valores de Al trocável apresentaram diferenças significativas entre as doses na camada de 0-10cm. Nas demais camadas não houveram diferenças significativas (tab. A22).

O teste de comparação de médias (tab. 6) mostrou que

houveram diferenças significativas entre todos os tratamentos na camada superficial (0-10cm).

TABELA 6 - MÉDIAS DE Al (meq/100ml) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA

Camada (cm)	Tratamento		
	test.	15 t/ha	30 t/ha
0 - 10	0,39a	0,28b	0,24c
10 - 20	0,39a	0,39a	0,34a
20 - 30	0,77a	0,79a	0,74a
30 - 40	0,95a	0,93a	0,96a
40 - 50	0,98a	0,98a	0,97a

Médias em cada linha seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A diferença encontrada entre a dose 30 t/ha e a testemunha foram menores que a observada no experimento 1, provavelmente em função da lixiviação provocada pela irrigação. Nas duas camadas superficiais, houve redução dos teores de Al trocável seguindo a mesma tendência observada para o pH, entretanto nas demais camadas a redução do pH não foi seguida por aumento no teor de Al, o que sugere complexação do Al nestas camadas mais profundas e carreamento de Al para fora do sistema, conforme observado nas análises da água de drenagem. Esta tendência de redução no teor de Al nas camadas sub-superficiais do solo foi um dos aspectos mais importantes ocorrido com a adição dos resíduos de leucena, pois implica em melhores condições químicas para o desenvolvimento das raízes em profundidade.

4.2.2.3 - Acidez potencial (H+Al)

A acidez potencial não foi alterada significativamente pelos tratamentos em nenhuma das camadas (tab. A23). Entretanto, a diferença na camada de 0-10cm entre a dose maior e a testemunha foi de 1,2 unidades, semelhante à obtida no experimento 1, revelando tendência de redução da acidez potencial pelos resíduos de leucena na camada onde foram incorporados e na camada subjacente (10-20cm). A partir da camada de 20-30cm houve ligeira tendência ao aumento do H+Al, embora inconsistente (tab. 7).

TABELA 7 - MÉDIAS DE H+Al (meq/100ml) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA

Camada (cm)	Tratamento		
	test.	15 t/ha	30 t/ha
0 - 10	5,76	5,56	5,56
10 - 20	5,76	5,76	5,56
20 - 30	6,33	6,55	6,45
30 - 40	6,95	6,82	7,07
40 - 50	6,69	6,82	6,82

4.2.2.4 - Potássio (K)

Como esperado, o teor de K foi aumentado pela adição de resíduos de leucena em todo o perfil do solo, sendo este aumento mais expressivo nas duas camadas superiores. A análise de variância mostrou haverem diferenças significativas entre os tratamentos em todas as camadas (tab. A24).

TABELA 8 - MÉDIAS DE K (meq/100ml) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA

Camada (cm)	Tratamento		
	test.	15 t/ha	30 t/ha
0 - 10	0,18c	0,43b	0,62a
10 - 20	0,22c	0,45b	0,65a
20 - 30	0,16c	0,24b	0,38a
30 - 40	0,08b	0,10b	0,13a
40 - 50	0,06b	0,07a	0,07a

As médias em cada linha seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O teste de comparação de médias revelou diferenças significativas entre todos os tratamentos nas três primeiras camadas. Na camada de 30-40cm, a testemunha e a dose 15 t/ha diferiram significativamente da dose 30 t/ha e não entre si. Na camada inferior, os tratamentos com leucena diferiram da testemunha mas não entre si (tab. 8).

4.2.2.5 - Cálcio (Ca)

O teor de Ca aumentou com a adição dos resíduos de leucena em todas as camadas, sendo este aumento mais expressivo no local de incorporação.

A análise de variância acusou diferenças significativas entre os tratamentos em todas as camadas excetuando-se a de 10-20cm (tab. A25).

O teste de comparação de médias mostrou diferenças entre todos os tratamentos na camada de 0-10cm. Na camada de

20-30cm a dose 15 t/ha diferiu da 30 t/ha, ficando a testemunha numa posição intermediária. Na camada de 30-40cm a dose maior diferiu das demais que não diferiram entre si. Na última camada a testemunha diferiu da dose 30 t/ha, e a dose 15 t/ha não se diferenciou da testemunha nem da dose maior (tab. 9).

TABELA 9 - MÉDIAS DE Ca (meq/100ml) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA

Camada (cm)	Tratamento		
	test.	15 t/ha	30 t/ha
0 - 10	2,64c	3,04b	3,37a
10 - 20	2,72a	2,75a	2,90a
20 - 30	2,17ab	2,14b	2,30a
30 - 40	1,95b	2,01b	2,15a
40 - 50	1,83b	1,96ab	2,07a

Médias em cada linha seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A redistribuição do Ca no perfil do solo deve favorecer o crescimento das plantas, pois os baixos teores de Ca nos horizontes sub-superficiais têm sido apontados como uma das principais limitações ao desenvolvimento das raízes em solos ácidos. Aparentemente a redistribuição do Ca no perfil do solo promovida pelos resíduos de leucena é superior à conseguida com calcário agrícola (HUTTON e SOUZA, 1985; PAVAN et al., 1984b).

4.2.2.6 - Magnésio (Mg)

O teor de Mg foi diminuído com a aplicação dos resíduos de leucena nas duas primeiras camadas, e elevado nas demais com a dose de 30 t/ha. A redução dos teores de Mg nas camadas superficiais provavelmente se deve à sua lixiviação como íon acompanhante do nitrato e de ânions orgânicos. A análise de variância revelou diferenças significativas entre os tratamentos apenas nas duas primeiras camadas e na última. Nas demais não houveram diferenças significativas (tab. A26).

Na primeira camada, a dose 30 t/ha diferiu significativamente da testemunha. Na segunda, a testemunha foi significativamente superior aos tratamentos com leucena que não diferiram entre si. Na camada inferior as doses 15 e 30 t/ha diferiram da testemunha, mas não entre si (tab. 10).

Redução dos teores de Mg nas camadas superficiais foram relatadas após a aplicação de calcário e gesso agrícolas (PAVAN et al., 1984b).

TABELA 10 - MÉDIAS DE Mg (meq/100ml) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA

Camada	Tratamento		
	test.	15 t/ha	30 t/ha
0 - 10	1,75a	1,69ab	1,64b
10 - 20	1,85a	1,67b	1,62b
20 - 30	1,35a	1,37a	1,46a
30 - 40	1,04a	1,03a	1,11a
40 - 50	0,89b	0,98a	1,02a

Médias em cada linha seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.2.7 - Fósforo (P)

A adição de resíduos de leucena elevou o teor de P extraível em todas as camadas, notadamente na dose de 30 t/ha.

Os tratamentos apresentaram diferenças significativas nas camadas de 0-10 e 30-40cm. Nas demais camadas as diferenças entre os tratamentos não foram significativas (tab. A27).

Na camada de 0-10cm todos os tratamentos diferiram entre si significativamente, e na camada de 30-40cm a dose 30 t/ha diferiu da testemunha e da dose 15 t/ha (tab. 11).

TABELA 11 - MÉDIAS DE P (ppm) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA

Camada (cm)	Tratamento		
	test.	15 t/ha	30 t/ha
0 - 10	3,18c	3,83b	4,75a
10 - 20	3,30a	3,55a	3,78a
20 - 30	1,93a	1,95a	2,38a
30 - 40	1,58b	1,63b	1,90a
40 - 50	1,45a	1,50a	1,65a

As médias em cada linha seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Aumento do teor de P no solo e na solução do solo após a aplicação de resíduos orgânicos foi relatado por HUE et al. (1986) que sugeriram três mecanismos possíveis: (1) fosfato foi liberado dos resíduos durante a mineralização, (2) ânions orgânicos derivados dos resíduos deslocaram o P adsorvido nas superfícies dos óxidos de Fe e Al, ou impediram estas

superfícies de adsorverem o P adicionado, (3) os ânions orgânicos formaram complexos estáveis com cátions como Al^{3+} e Fe^{3+} , diminuindo as atividades destes cátions na solução do solo e conseqüentemente aumentando a atividade do P solúvel.

4.2.2.8 - Carbono (C)

O teor de carbono aumentou com a adição dos resíduos de leucena no local de incorporação. O efeito das doses foi estatisticamente significativo apenas na camada superficial (tab. A28).

Na camada de 0-10cm a testemunha diferiu da dose maior significativamente, e a dose 15 t/ha não apresentou diferenças significativas dos demais tratamentos (tab. 12).

TABELA 12 - MÉDIAS DE C (%) DOS TRATAMENTOS POR CAMADA

Camada	Tratamento		
	test.	15 t/ha	30 t/ha
0 - 10	1,08b	1,28ab	1,90a
10 - 20	1,09a	1,11a	1,21a
20 - 30	0,84a	0,96a	0,93a
30 - 40	0,92a	1,08a	0,91a
40 - 50	0,74a	0,74a	0,73a

Médias em cada linha seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.2.9 - Saturação por alumínio (m%)

A saturação por Al tendeu a diminuir com a aplicação dos resíduos de leucena em todo o perfil do solo. Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos apenas nas camadas 0-10 cm e 40-50 cm (tab. A29).

Houveram diferenças significativas entre todos os tratamentos na camada superficial. Na camada de 40-50cm, a testemunha se diferenciou significativamente da dose maior, e a dose 15 t/ha não se diferenciou dos demais (tab. 13).

TABELA 13 - MÉDIAS DA SATURAÇÃO POR Al (m%) POR CAMADA

Camada	Tratamento		
	test.	15 t/ha	30 t/ha
0 - 10	7,92a	5,07b	4,01c
10 - 20	7,44a	7,35a	6,09a
20 - 30	17,28a	17,40a	15,22a
30 - 40	23,59a	22,80a	22,16a
40 - 50	25,97a	24,60ab	23,53b

As médias em cada linha seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A tendência observada de redução da saturação por Al nas camadas mais profundas pode ser atribuída principalmente ao aumento dos teores de K, Ca e Mg incorporados pelos resíduos de leucena, pois não houve redução apreciável do Al trocável nas três últimas camadas.

4.2.2.10 - Saturação de bases (V%)

A porcentagem de saturação de bases foi elevada pelos resíduos de leucena em todas as camadas. Diferenças significativas entre os tratamentos foram encontradas nas duas camadas superiores e na inferior (tab. A30).

As diferenças foram significativas entre todos os

tratamentos na camada superficial. Na camada de 10-20cm a dose maior foi significativamente superior às demais, que não diferiram entre si. Na camada de 40-50cm, a dose 30 t/ha apresentou diferença significativa da testemunha, e a dose 15 t/ha não se diferenciou significativamente dos demais tratamentos (tab. 14).

O aumento da saturação por bases nas camadas mais profundas deve ser atribuído à redistribuição do K, Ca e Mg, pois o H+Al tendeu a elevar-se nestas camadas.

TABELA 14 - MÉDIAS DA SATURAÇÃO POR BASES (V%) POR CAMADA

Camada	Tratamento		
	test.	15 t/ha	30 t/ha
0 - 10	44,19c	48,13b	50,30a
10 - 20	45,36b	45,74b	48,17a
20 - 30	36,74a	36,28a	39,07a
30 - 40	30,66a	31,51a	32,36a
40 - 50	29,35b	30,60ab	31,69a

Médias em cada linha seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

5 - CONCLUSÕES

A incorporação de resíduos de leucena resultou em melhoria da fertilidade dos solos ácidos utilizados nos experimentos.

No experimento de incubação, as variáveis pH, Al, H+Al, K, Ca, Mg, C, saturação por Al e saturação por bases, foram melhoradas pela incorporação de resíduos de leucena.

O fósforo (P) apresentou comportamento diferenciado no experimento de incubação, enquanto tendeu a elevar-se no latossolo roxo, apresentou redução no latossolo vermelho-escuro. Devido à complexidade da dinâmica do P no solo, não foi possível explicar os resultados diferentes nos dois solos.

Os efeitos da incorporação dos resíduos nas variáveis pH, Al trocável, saturação por Al (m%) e saturação por bases (V%), foram mais intensos no latossolo vermelho-escuro.

O aumento no pH do solo resultante da incorporação dos resíduos de leucena foi praticamente imediato e manteve-se durante todo o período experimental. A redução dos teores de Al trocável, a exemplo do pH, ocorreu imediatamente após a incorporação dos resíduos, mantendo-se durante os seis meses do período experimental.

No experimento com as colunas de solo, as variáveis pH, Al, K, Ca, P, C, saturação por Al (m%) e saturação por bases (V%), foram melhoradas na camada onde houve a incorporação. A acidez potencial (H+Al) não foi alterada significativamente em nenhuma camada. O Mg teve seu teor reduzido nas duas camadas superficiais e aumentado nas demais.

No experimento com as colunas de solo, o pH tendeu a reduzir-se nas camadas mais profundas sem que tenha sido acompanhado por aumento do teor de Al trocável. Os elementos K, Ca e Mg, apresentaram redistribuição no perfil, contribuindo para as tendências observadas de redução da saturação por Al (m%) e de aumento na saturação por bases (V%) ao longo do perfil.

Do ponto de vista prático, o aspecto mais relevante das alterações foi a diminuição do Al trocável no local de incorporação, contribuindo para redução da necessidade de calagem, indispensável nos solos ácidos. A aplicação dos resíduos não foi eficiente em reduzir o Al trocável em profundidade, pelo menos a curto prazo. Entretanto, as tendências observadas no perfil do solo, de redução da percentagem de saturação por Al (valor m) e de aumento da saturação por bases (valor V), indicam que a redução da toxidez por Al nas camadas sub-superficiais pode ser conseguida a longo prazo com aplicações continuadas de resíduos de leucena.

A metodologia utilizada no experimento de incubação se mostrou eficaz, permitindo que novas espécies possam ser testadas, de maneira relativamente rápida e simples, quanto ao potencial dos seus resíduos em melhorar a fertilidade do solo.

ANEXO - ESTATÍSTICAS

TABELA A1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO pH AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

F.V.	G.L.	Q.M.	Valor de F
Solo	1	0,6612490	352,6288**
Dose	3	0,4570834	243,7520**
Solo x Dose	3	0,1504152	80,2130**
Resíduo	24	0,0018752	
Total	31		

C.V.% = 1,00

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.
 ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.
 n.s. não significativo.

TABELA A2 - MÉDIAS DE pH AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO

Dose	Solo	
	LR	LE
Testemunha (0 t/ha)	4,35c	3,78d
10 t/ha	4,45b	4,00c
20 t/ha	4,50b	4,35b
30 t/ha	4,60a	4,63a

Médias em cada coluna seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA A3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Al AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

F.V.	G.L.	Q.M.	Valor de F
Solo	1	0,0124031	15,6879**
Dose	3	0,3622448	458,1797**
Solo x Dose	3	0,0312532	39,5301**
Resíduo	24	0,0007906	
Total	31		
C.V.% = 7,19			

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A4 - MÉDIAS DE Al (meq/100ml) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO

Dose	Solo	
	LR	LE
Testemunha (0 t/ha)	0,60a	0,73a
10 t/ha	0,45b	0,43b
20 t/ha	0,36c	0,23c
30 t/ha	0,23d	0,10d

Médias em cada coluna seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA A5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO H+Al AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

F.V.	G.L.	Q.M.	Valor de F
Solo	1	64,7806524	3170,1739**
Dose	3	1,3448138	65,8112**
Solo x Dose	3	0,1115594	5,4594**
Resíduo	24	0,0204344	
Total	31		
C.V.% = 2,98			

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A6 - MÉDIAS DE H+Al (meq/100ml) AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

Dose	Solo	
	LR	LE
Testemunha (0 t/ha)	6,57a	4,05a
10 t/ha	6,33ab	3,42b
20 t/ha	6,21b	3,12c
30 t/ha	5,76c	2,90c

Médias em cada coluna seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA A7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO K AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO

F.V.	G.L.	Q.M.	Valor de F
Solo	1	0,1800000	1440,0828**
Dose	3	0,2912334	2330,0005**
Solo x Dose	3	0,0002333	1,8667n.s.
Resíduo	24	0,0001250	
Total	31		

C.V.% = 3,58

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A8 - MÉDIAS DE K (meq/100ml) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO

Dose	Solo	
	LR	LE
Testemunha (0 t/ha)	0,16d	0,01d
10 t/ha	0,31c	0,17c
20 t/ha	0,49b	0,32b
30 t/ha	0,60a	0,45a

Médias em cada coluna seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA A9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Ca AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

F.V.	G.L.	Q.M.	Valor de F
Solo	1	53,7166145	7447,7795**
Dose	3	0,7425463	102,9536**
Solo x Dose	3	0,0144454	2,0028n.s.
Resíduo	24	0,0072124	
Total	31		

C.V.% = 4,93

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A10 - MÉDIAS DE Ca (meq/100ml) AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

Dose	Solo	
	LR	LE
Testemunha (0 t/ha)	2,64d	0,10d
10 t/ha	2,91c	0,32c
20 t/ha	3,09b	0,56b
30 t/ha	3,44a	0,73a

Médias em cada coluna seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA A11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Mg AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

F.V.	G.L.	Q.M.	Valor de F
Solo	1	27,9004499	11625,5172**
Dose	3	0,1351669	56,3211**
Solo x Dose	3	0,0018168	0,7570n.s.
Resíduo	24	0,0023999	
Total	31		

C.V.% = 4,34

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A12 - MÉDIAS DE Mg (meq/100ml) AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

Dose	Solo	
	LR	LE
Testemunha (0 t/ha)	1,91c	0,05c
10 t/ha	2,02b	0,16b
20 t/ha	2,09b	0,25ab
30 t/ha	2,24a	0,33a

Médias em cada coluna seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA A13 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO P AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

F.V.	G.L.	Q.M.	Valor de F
Solo	1	368,5612655	417,5337**
Dose	3	3,3208298	3,7621*
Solo x Dose	3	6,0687284	6,8751**
Resíduo	24	0,8827101	
Total	31		

C.V.% = 12,51

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A14 - MÉDIAS DE P (ppm) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO

Dose	Solo	
	LR	LE
Testemunha (0 t/ha)	3,88a	12,42a
10 t/ha	4,08a	11,40a
20 t/ha	4,10a	10,98a
30 t/ha	4,43a	8,83b

Médias em cada coluna seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA A15 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO C AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

F.V.	G.L.	Q.M.	Valor de F
Solo	1	4,8828124	1463,0091**
Dose	3	0,0633125	18,9700**
Solo x Dose	3	0,0011457	0,3433n.s.
Resíduo	24	0,0033375	
Total	31		

C.V.% = 7,19

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A16 - MÉDIAS DE C (%) AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO

Dose	Solo	
	LR	LE
Testemunha (0 t/ha)	1,11c	0,32b
10 t/ha	1,15bc	0,39b
20 t/ha	1,22ab	0,41b
30 t/ha	1,31a	0,54a

Médias em cada coluna seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA A17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA SATURAÇÃO POR Al (%) AOS
180 DIAS DE INCUBAÇÃO

F.V.	G.L.	Q.M.	Valor de F
Solo	1	6827,2535687	1099,6454**
Dose	3	2767,8352265	445,8070**
Solo x Dose	3	1903,0245143	306,5145**
Resíduo	24	6,2085956	
Total	31		

C.V.% = 11,43

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A18 - MÉDIAS DA SATURAÇÃO POR Al (%) AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

Dose	Solo	
	LR	LE
Testemunha (0 t/ha)	11,27a	82,93a
10 t/ha	7,91ab	39,72b
20 t/ha	6,03b	16,74c
30 t/ha	3,57b	6,24d

Médias em cada coluna seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA A19 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA SATURAÇÃO POR BASES (%)
AOS 180 DIAS DE INCUBAÇÃO

F.V.	G.L.	Q.M.	Valor de F
Solo	1	5663,4059478	8592,7899**
Dose	3	619,6622287	940,1811**
Solo x Dose	3	163,8747484	248,6386**
Resíduo	24	0,6590881	
Total	31		

C.V.% = 2,43

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A20 - MÉDIAS DA SATURAÇÃO POR BASES (%) AOS 180 DIAS DE
INCUBAÇÃO

Dose	Solo	
	LR	LE
Testemunha (0 t/ha)	41,74d	3,58d
10 t/ha	45,26c	16,03c
20 t/ha	47,67b	26,55b
30 t/ha	52,14a	34,22a

Médias em cada coluna seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA A21 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO pH DO SOLO POR CAMADA

F.V.	G.L.	Q.M.				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Dose	2	0,01750*	0,00583n.s.	0,00083n.s.	0,00750**	0,00750**
Resíduo	9	0,00306	0,00194	0,00305	0,00083	0,00083
Total	11					
C.V. %		1,24	0,99	1,30	0,69	0,69

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A22 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Al DO SOLO POR CAMADA

F.V.	G.L.	Q.M.				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Dose	2	0,02681**	0,00333n.s.	0,00202n.s.	0,00123n.s.	0,00005n.s.
Resíduo	9	0,00038	0,00241	0,00889	0,00395	0,00177
Total	11					
C.V. %		6,53	13,33	12,33	6,65	4,32

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A23 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO H+AL POR CAMADA

F.V.	G.L.	Q.M.				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Dose	2	0,05604n.s.	0,05602n.s.	0,04749n.s.	0,06503n.s.	0,02168n.s.
Resíduo	9	0,03735	0,01868	0,06227	0,07225	0,04335
Total	11					
C.V. %		3,44	2,40	3,87	3,87	3,07

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A24 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO K POR CAMADA

F.V.	G.L.	Q.M.				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Dose	2	0,19480**	0,18943**	0,04883**	0,00251**	0,00030**
Resíduo	9	0,00043	0,00147	0,00066	0,00015	0,00003
Total	11					
C.V. %		5,06	8,77	10,01	12,05	8,88

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A25 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Ca POR CAMADA

F.V.	G.L.	Q.M.				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Dose	2	0,53454**	0,03503n.s.	0,02830*	0,04073**	0,05761**
Resíduo	9	0,00272	0,01579	0,00638	0,00449	0,00409
Total	11					
C.V.%		1,73	4,51	3,63	3,29	3,28

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A26 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO Mg POR CAMADA

F.V.	G.L.	Q.M.				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Dose	2	0,01267*	0,06271**	0,01418n.s.	0,00760n.s.	0,01701**
Resíduo	9	0,00261	0,00601	0,00709	0,00298	0,00123
Total	11					
C.V.%		3,02	4,53	6,05	5,15	3,64

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A27 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO P POR CAMADA

F.V.	G.L.	Q.M.				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Dose	2	2,50584**	0,22584n.s.	0,25583n.s.	0,12250*	0,04333n.s.
Resíduo	9	0,09833	0,23749	0,10722	0,01722	0,01556
Total	11					
C.V. %		8,01	13,76	15,72	7,72	8,13

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A28 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO C POR CAMADA

F.V.	G.L.	Q.M.				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Dose	2	0,72781*	0,01710n.s.	0,01473n.s.	0,03743n.s.	0,00013n.s.
Resíduo	9	0,13697	0,00706	0,01775	0,04170	0,00156
Total	11					
C.V. %		26,09	7,40	14,68	21,09	5,35

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A29 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA SATURAÇÃO POR Al POR
CAMADA

F.V.	G.L.	Q.M.				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Dose	2	16,42382**	2,28841n.s.	5,99403n.s.	2,03173n.s.	5,98475*
Resíduo	9	0,16385	0,84734	5,18019	1,78511	1,38493
Total	11					
C.V.%		7,15	13,23	13,69	5,85	4,77

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. não significativo.

TABELA A30 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA SATURAÇÃO POR BASES
POR CAMADA

F.V.	G.L.	Q.M.				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Dose	2	38,43882**	9,24479**	8,92781n.s.	2,89828n.s.	5,48579**
Resíduo	9	0,92559	1,01874	2,47371	1,19380	0,55690
Total	11					
C.V.%		2,02	2,17	4,21	3,47	2,44

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. não significativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - AHMAD,N. & NG,F.S.P. Growth of leucaena in relation to soil pH nutrient levels and rhizobium concentration. *Leucaena Res. Reports*, 2 :5-10, 1981.
- 02 - ALVAREZ,F.R. & ALFEREZ, A.C. The effect of intercropped *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit as organic fertilizer on the growth and yield of corn. *Leucaena Res. Reports*. 5, :59, 1984.
- 03 - ALVAREZ,R.; RODRIGUEZ,M.; SORENSSON,C. *Leucaena multicapitula*: a true giant from Panama and its soil improvement. *Leucaena Res. Reports*, 8 :54-5, 1987. *Forestry Abstracts*, 51(10), 1990. Ref.6326. Resumo.
- 04 - ASGHAR,M. & KANEHIRO,Y. Effects of sugar-cane trash and pineapple residue on soil pH, redox potencial, extractable Al, Fe and Mn. *Trop. Agric. (Trinidad)*, 57 (3) :245-258, 1980.
- 05 - BARTLETT,R.J. & RIEGO,D.C. Effect of chelation on the toxicity of aluminum. *Plant and Soil*, 37 :419-23, 1972.
- 06 - BENE,J.G.; BEALL,H.W.; COTE,A. Les arbres dans l'aménagement des terres sous les tropiques: une solution a la faim. Ottawa, CDRI, 1978. 55.p.

- 07 - BESSHO, T. & CLIVE BELL, L. Soil solid and solution phase changes and mung bean response during amelioration of aluminum toxicity with organic matter. **Plant and soil**, **140** :183-196, 1992.
- 08 - BLAMEY, F.P.C. & EDWARDS, D.G. Limitations to food crop production in tropical acid soils. In: HEIDE, J. van der (ed.) **Nutrient management for food crop production in tropical farming systems**. Haren, IB/IITA, 1989.:73-94.
- 09 - BLOOM, P.R.; McBRIDE, M.B.; WEAVER, R.M. Aluminum organic matter in acid soils: buffering and solution aluminum activity. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, **43** :488-493, 1979.
- 10 - BREWBAKER, J.L. & GLENN, M.I. Taxonomic studies of the genus *leucaena*. **Leucaena newsletter**, **1** :41-42, 1980.
- 11 - BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1968. 594p.
- 12 - CASTRO FILHO, C.; HENKLAIN, J.C.; VIEIRA, M.J.; CASÃO, Jr.R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. **Soil & Tillage Res.**, **20**:271-283, 1991.
- 13 - CHIYENDA, S.S. & MATERECHERA, S.A. Effect of incorporating prunings of *Leucaena leucocephala*, *Cassia siamea* and *Cajanus cajan* on yields of maize in alley cropping systems. In: HEIDE, J. van der (ed.) **Nutrient management for food crop production in tropical farming systems**. Haren, IB, 1989. :119-128.

- 14 - CORRÊA, A.R. & BERNARDES, L.R.M. **Características climáticas de Londrina**. Londrina, IAPAR, 1982. (Circular IAPAR, 5)
- 15 - CORREA, A.E.; MIYAZAWA, M.E.; PAVAN, M.A. Métodos de não digestão para extração de boro em folhas de plantas. **Pesq. agropec. bras.**, 20(10) :1213-1216, 1985.
- 16 - DAS, R.B. & REDDY, V.N. Intercropping of leucaena with grain crops. **Leucaena Res. Reports**, 3 :23-24, 1982.
- 17 - DEB ROY, R. & GILL, A.S. Leucaena in agroforestry. **Leucaena Res. Reports**, 12 :26-27, 1991.
- 18 - DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Contrôle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn, GTZ, 1991. 272 p.
- 19 - DUDLEY, L.M.; MCNEAL, B.L., BAHAM, J.E. Time-dependent changes in soluble organics, copper, nickel, and zinc from sludge amended soils. **J. Environ. Qual.**, 15 :188-192, 1986.
- 20 - DUTT, A.K. & JAMWAL, U. Productivity of single- and multi-stemmed leucaena. **Leucaena Res. Reports**, 12 :31-33, 1991.
- 21 - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília, 1986. (Documentos, 17) 89p.

- 22 - ERNANI, P.R. & GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. *R. bras. Ci. Solo*, 7 :161-165, 1983.
- 23 - EVANS, J. Site and species selection: changing perspectives. *Forest Ecology and Management*, 21 :299-310, 1987.
- 24 - GILL, A.S. & PATIL, B.D. Leucaena foliage as a source of green manure. *Leucaena Res. Reports*, 3 :29, 1982.
- 25 - _____. Leucaena leaves as a source of manure. *Leucaena Res. Reports*, 5 :26, 1984.
- 26 - HARGROVE, W.L. & THOMAS, G.W. Effect of organic matter on exchangeable aluminum and plant growth in acid soils. In: STELLY, M. (ed.) *Chemistry in the soil environment*. Madison, Am. Soc. Agron., 1981. :151-166.
- 27 - HENKLAIN, J.C.; MEDEIROS, G.B.de; FARIAS, G.S.de. *Guia de campo para identificação de solos no Estado do Paraná; solos da região do 3º Planalto*. Londrina, IAPAR, 1986. 37p. (IAPAR. Documentos, 10).
- 28 - HOYT, P.B. & TURNER, R.C. Effects of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH_4 , and crop yields. *Soil Science*, 119(3) :227-37, 1975.

- 29 - HU,TA-WEI & CHENG,WEI-ER. Effect of liming on the growth and nutrient levels of leucaena. *Leucaena Newsletter*, 1 :31-32, 1980.
- 30 - _____; _____; SHEN,TSE-AN. Changes in soil nutrients after harvest of *Leucaena leucocephala*. *Leucaena Res. Reports*, 5 :66-67, 1984.
- 31 - HUE, N.V.; CRADDOCK,G.R.; ADAMS,F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 :28-34, 1986.
- 32 - _____ & AMIEN,I. Aluminum detoxification with green manures. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.*, 20 :1499-1511, 1989.
- 33 - _____. Correcting soil acidity of a highly weathered ultisol with chicken manure and sewage sludge. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.*, 23 :241-264, 1992.
- 34 - HUTTON,E.M. Breeding leucaena for acid tropical soils. *Leucaena Newsletter*, 1 :7, 1980.
- 35 - _____. Natural crossing and acid tolerance in some leucaena species. *Leucaena Res. Reports*, 2 :2-4, 1981.
- 36 - _____. Interrelation of Ca and Al in adaptation of leucaena to very acid soils. *Leucaena Res. Reports*, 3 :9-11, 1982.

- 37 - _____. Breeding and selecting leucaena for acid tropical soils. *Pesq. agropec. bras.*, 19 s/n :263-274, 1984.
- 38 - _____ & SOUZA,B.F.de. Acid-soil tolerant leucaena especially for brasilian cerrados. *Leucaena Res. Reports*, 6 :17-19, 1985.
- 39 - IAPAR. Instituto Agronômico do Paraná. *Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná*. Londrina. 1978.
- 40 - JHA,M.N.; DIMRI,B.N.; GUPTA,M.K. Soil nutrient changes in *Leucaena leucocephala* plantings of diferent durations. *Leucaena Res. Reports*, 12 :42-44, 1991.
- 41 - JIANG,H. & LIU,G. Fodder yield experiments with leucaena at various densities. *Leucaena Res. Reports*, 12 :92, 1991.
- 42 - KANG,B.T. Nutrient management for sustained crop production in the humid and subhumid tropics. In: HEIDE,J. van der (ed.) *Nutrient management for food crop production in tropical farming systems*. Haren, IB, 1989. :3-28.
- 43 - _____; WILSON,G.F.; SIPKENS,L. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam.) in southern Nigeria. *Plant and Soil*, 63 :165-179, 1981.

- 44 - KEMPER,B. & DERPSCH,R. Soil compactation and root growth in Paraná. In: RUSSEL,R.S.; IGUE,K. ; MEHTA,Y.R. (eds.) **The soil/root system in relation to brazilian agriculture**. IAPAR, Londrina, 1981. :81-101.
- 45 - KUBOTA,L.T.; MIYAZAWA,M.; ISHIKAWA,D.N.; PAVAN.M.A. Método modificado de determinação de alumínio por ferron. **Pesq. agropec. bras.**, 21 (12) :1297-1302, 1986.
- 46 - LARACH,J.O.L.; CARDOSO,A.; CARVALHO,A.P.; HOCHMULER,D.P., FASOLO,P.J.; RAUEN,M.J. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**. Curitiba, EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 57).
- 47 - LE MARE,P.H.; PEREIRA,J.; GOEDERT,W.J. Effects of green manure on isotopically exchangeable phosphate in a dark-red latosol in Brazil. **Journal of Soil Science**, 38 :199-209, 1987.
- 48 - MALAVOLTA,E. **Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros**. Piracicaba, POTAFOS, 1989. 153 p.
- 49 - MENDOZA,R.C. & JAVIER,E.Q. Herbage yield determination from four recommended ipil-ipil (*L. leucocephala*) cultivars. **Leucaena Newsletter**, 1 :26, 1980.
- 50 - MENGEL,K. & KIRKBY,E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern. International Potash Institute. 1987. 687 p.

- 51 - MIYAZAWA,M. **Determinação potenciométrica indireta de alumínio tóxico no solo com eletrodo seletivo de fluoreto.** USP, Inst. de Física e Química de São Carlos. São Carlos. 1990. Tese de doutorado. 262 p.
- 52 - _____; PAVAN,M.A.; BLOCK,M.F.M. **Determination of Ca, Mg, K, Mn, Cu, Zn, Fe and P in coffee, soybean, corn, sunflower and pasture grass leaf tissues by a HCl extraction method.** *Commun. in soil sci. plant anal.*, **15** :141-147, 1984.
- 53 - _____; _____; _____. **Determinação espectrofotométrica de nitrato em extratos de solo sem redução química.** *Pesq. agropec. bras.*, **20(1)** :1299-1303, 1985.
- 54 - _____; _____; _____. **Análise química de tecido vegetal.** Londrina, IAPAR, 1992. 17p. (IAPAR. Circular, 74).
- 55 - MUZILLI,O.; LANTMANN,A.F.; PALHANO,J.B.; OLIVEIRA,E.L.; PARRA,M.S.; COSTA,A.; CHAVES,J.C.D.; ZOCOLER,D.C. **Análise de solos: interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná.** Londrina, IAPAR, 1978. (Circular 9). 49 p.
- 56 - _____ & IGUE,K. **Fertilidade do solo e adubação.** In: Instituto Agrônômico do Paraná. **Manual Agropecuário para o Paraná.** IAPAR, Londrina. 1976. :103-151.

- 57 - NAIR,P.K.R. Agroforestry defined. In: NAIR,P.K.R. (ed.)
Agroforestry Systems in the tropics. Dordrecht,Kluwer.
1989. :13-18.
- 58 - NAS. NATINAL ACADEMY OF SCIENCES. **Firewood crops: shrub
and tree species for energy production**. Washington,
NAS, 1980. 236p.
- 59 - NFTA. Nitrogen Fixing Tree Association. **Leucaena: An
Important Multipurpose Tree**. **NFTA Highlights**, 90-01.
NFTA, Waimanalo, Hawaii, 1990.
- 60 - OAKES,A.J. *Leucaena leucocephala*: description, culture,
utilization. **Advancing Frontiers of Plant Sciences**, 20
:1-114, 1968.
- 61 - PATHAK,P.S. *Leucaena* manuring and yields of oats.
Leucaena Res. Reports, 6 :47-48, 1985.
- 62 - PAULA SOUZA,D.M. & PAULA SOUZA,M.L. Alterações
provocadas pelo reflorestamento de *Pinus sp.* na
fertilidade de solos da região da Lapa - PR. **Floresta**,
12 (2) :36-52, 1981.
- 63 - PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e
Abastecimento do Paraná. **Programa de Desenvolvimento
Florestal Integrado**. Curitiba, 1987. 38 p.

- 64 - PAVAN,M.A.; MIYAZAWA,M.; TSUNETTA,M.; KISHINO,A.Y.
Extração de nutrientes em folhas de frutíferas de
clima tropical, subtropical e temperado pelo método
sem digestão. *Rev. bras. frutic.*, 6 :17-22, 1984a.
- 65 - ____; BINGHAM,F.T.; PRATT,P.T. Redistribution of
exchangeable Calcium, magnesium, and aluminum
following lime or gypsum applications to a brazilian
oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48 :33-38, 1984b.
- 66 - _____. Aplicação de alguns conceitos básicos da química
na disponibilidade do íon alumínio para as plantas.
Rev. Tec. Cient. Citricultura, 6 :197-227, 1985.
- 67 - ____; CARAMORI,P.H.; ANDROCIOLI FILHO,A.; SCHOLZ,M.F.
Manejo da cobertura do solo para formação e produção
de uma lavoura cafeeira. I. influência na fertilidade
do solo. *Pesq. agropec. bras.*, 21(2) :187-192, 1986.
- 68 - ____; BLOCH,M.F.; ZEMPULSKI,H.C.; MIYAZAWA,M.;
ZOCOLER,D.C. *Manual de análise de solo e controle de
qualidade*. Londrina, IAPAR, 1992. 40 p. (Circular,76).
- 69 - PRIMAVESI,A. *O manejo ecológico do solo: agricultura em
regiões tropicais*. São Paulo, Nobel. 1980. 541 p.
- 70 - POUND,B. & MARTINEZ CAIRO,L. *Leucaena: it's cultivation
and uses*. London, Overseas Development Administration,
1983. 287 p.

- 71 - RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo, Ceres/Potafos, 1991. 343 p.
- 72 - _____; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, A.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade.** Campinas, Cargill, 1987. 170 p.
- 73 - RITCHIE, G.S.P. & DOLLING, P.J. The role of organic matter in soil acidification. **Aust. J. Soil Res.**, 23 :39-54, 1985.
- 74 - SÁ, J.P.G. Avaliação de introduções de leucena em Ibiaporã, PR. **Anais da XXIV reunião anual da SBZ.** Resumo. Brasília, 1987. :207.
- 75 - SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; DAVEY, C.B.; SZOTT, L.T.; RUSSEL, C.E. Trees as tropical soil improvers? In: CANNELL, M.G.R. & JACKSON, J.E. (eds.) **Attributes of trees as crop plants.** Inst. of Terrestrial Ecology. 1985. :327-358.
- 76 - SZOTT, L.T.; FERNANDES, E.C.M.; SANCHEZ, P.A. Soil-plant interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, 45 :127-152, 1991.
- 77 - _____; PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Agroforestry in acid soils of the humid tropics. **Advances in agronomy**, 45 :275-301, 1991.
- 78 - TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers.** New York, Macmillan, 1985, 754 p.

- 79 - VAN DEN BELDT, R.J. Litterfall as a function of population in a 1-year old leucaena (K8) planting. *Leucaena Res. Reports*, 3 :95, 1982.
- 80 - WEERARATNA, C.S. Nitrogen release during decomposition of leucaena leaves. *Leucaena Res. Reports*, 3 :54, 1982.
- 81 - YOUNG, A. The potential of agroforestry for soil conservation. Part II: Maintenance of fertility. Nairobi, ICRAF, 1987. ICRAF Working Paper n^o 43.